中国石油大学
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM



非常规油气科学技术研究院

地质与地球物理研究所

招 生 手 册

非常规院油气科学技术研究院简介

非常规油气科学技术研究院（简称：非常规院）是中国石油大学（北京）为了为适应全球油气发展新形势，服务国家能源发展战略需要，优化资源配置，加快“双一流”建设，由原来的非常规天然气研究院和提高采收率研究院合并组建而成的专业实体研究机构。

非常规院总体定位是：面向国家重大需求，追求世界一流。以国家需求为已任，服务于国家能源战略，紧紧围绕学校建设石油石化学科领域国际一流研究型大学的目标，充分发挥团队协同创新和多学科交叉优势，坚持“开放、流动、协同、创新”的宗旨，坚持国际化、特色化的发展思路，努力建设成为我国非常规石油与天然气勘探开发领域理论创新、技术研发、人才培养、产学研用一体化和国际合作与交流基地和世界一流非常规油气科学技术研究机构。

非常规院下设地质与地球物理研究所（简称：地质所）、储层改造与开发工程研究所（简称：工程所）和提高采收率研究所（简称：采收率所），主要致力于致密油气、页岩油气、煤层气领域的基础理论和技术研发研究，积极探索增强型地热、页岩油原位开采、天然气水合物等前沿领域，重点攻关领域包括非常规油气成藏与地质评价、非常规油气地球物理探测、岩石力学与储层评价、非常规油气钻完井、非常规储层压裂改造、非常规油气藏工程与数值模拟、非常规油气提高采收率、非常规油气田化学工程等。

非常规院现有正式在编教职工59人，课题组自聘34人，涵盖油气资源勘探开发相关学科领域，由国家“973”首席科学家、国家“863”首席科学家、国家“863”专家组成员等知名学者领军，形成了地质、地球物理、石油工程、油田化学多学科交叉的室内实验、理论研究、工程技术研究、应用研究和现场服务相结合的多学科交叉科学技术研究队伍。

非常规院师资力量雄厚，现有专职研究生指导教师54人，其中具有博士研究生指导资格15人，学历层次高、结构合理，在职人员全部具有博士学位，90%以上具有国际学习背景，分属三个国家一级学科专业：地质资源与地质工程、石油与天然气工程、化学工程与技术。非常规院以硕士研究生和博士研究生培养为主，同时开展本博一体化培养，注重学科交叉融合，培养高端工程领军人才和工程管理人才。研究院现有在校研究生420余人，其中博士研究生80余人，国际留学研究生约20人。



非常规油气科学技术研究院

地质与地球物理研究所

网址：http://www.cup.edu.cn/fcg/kytd2/dzydqwlyjs/index.htm

邮箱：fcgdzs@cup.edu.cn　　　　电话：010-89739068

地址：北京市昌平区府学路18号 中国石油大学(北京)

非常规油气科学技术研究院

非常规院地质与地球物理研究所简介

中国石油大学(北京)非常规油气地质与地球物理研究所由地质资源与地质工程、地球物理学、地质学等多学科专业人员组成，专门从事非常规油气成藏与地质评价和非常规油气地质物理探测研究。研究所依托中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室、非常规油气协同创新中心、中石油盆地构造与油气成藏重点实验室和中石油非常规油气重点实验室，围绕我国非常规油气资源效益勘探开发关注的重大理论与技术问题，着眼于非常规油气赋存机理与富集规律、非常规油气成藏与勘探评价、非常规储层压裂改造微地震监测、四维地震处理与油藏精细构造解释等方面开展综合研究，建成了国际领先、配套完备的非常规油气储层实验测试平台，其中包括页岩纳米尺度孔隙的观测实验平台、非常规储层孔隙结构定量表征实验平台、非常规储层物性和含气性测试平台、非常规油气成藏物理模拟实验平台、非常规油气储层地球物理探测平台。以科研平台为基础，近年来对外交流不断加强，与国外多所知名大学建立科研合作及研究生联合培养协作关系，每年都有一批研究生赴国外大学深造。

研究所发扬“求实、创新、拼搏、敬业”的精神，立足于石油科技及相关学科领域前沿，针对我国非常规地质与地球物理中的重大科学与技术问题，开展创新性应用基础研究和超前技术研究。研究所将努力建设成为集高水平科学研究、高新技术开发、高层次人才培养于一体、特色鲜明的非常规油气地质与地球物理研究基地。

“十三五”以来，本所承担国家重大专项课题1项、任务4项，国家重点研发计划项目2项，中石油—中国石油大学（北京）战略合作项目课题3项，国家自然基金重点项目3项、面上项目15项、青年项目8项，获得省部级奖10项，发表SCI论文220余篇，授权发明专利35件。

目标与方向

发展目标

通过理论创新、技术研发、人才培养、产学研合作和国际交流，把研究所建成“国内一流、国际知名”的非常规油气地质与地球物理研究与技术创新基地，以实现产学研一体化良性循环，促进非常规油气地质与地球物理科学技术的进步，为学校建设“石油石化学科领域世界一流的研究型大学”贡献力量。

研究方向

方向一：非常规油气成藏与地质评价

方向二：非常规油气地球物理探测

组织机构与人员构成

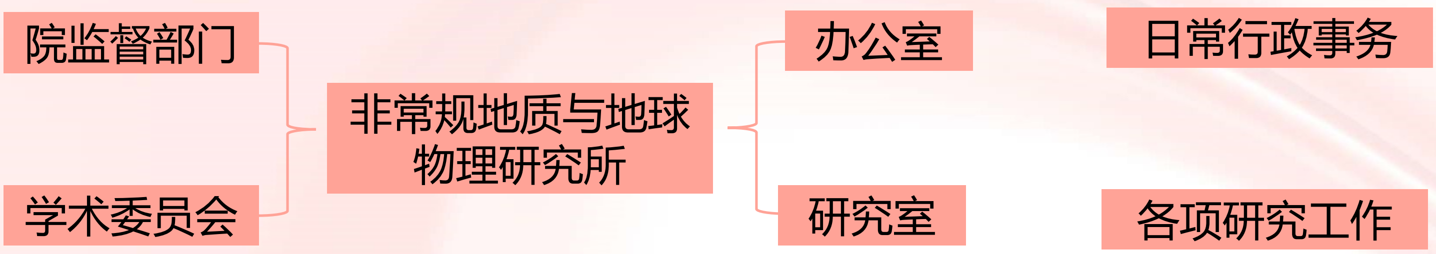
组织机构

党委书记：徐樟有　　副书记：刘　凌

院　　长：鲜成钢　　副院长：姜振学

所　　长：李　卓　　副所长：杨　威

支部书记：刘冬冬



人员构成

研究所现有在编正式教职工14人，包括正高级职称6人，副高级职称8人，具有海外学习工作经验的11人；其中“973首席科学家”1人，“校优秀青年学者”2人，“校青年拔尖人才”4人。

研究所现有教授/博导 5人，副教授/博导 4人，副教授/硕导 8人，兼职工程博导6人。

研究生拟招生专业

非常规油气地质与地球物理研究所下设博硕士招生专业名称、代码及研究方向如下:

	拟招生专业	拟招生专业方向
学术型博士研究生	地质资源与地质工程（081800）	01 含油气盆地分析与资源评价
		02 油气成藏形成机理与分布规律
		06 地球物理勘探
专业型博士研究生	资源与环境（085700）	01 地质工程
学术型硕士研究生	地质资源与地质工程（081800）	01 含油气盆地分析与资源评价
		02 油气成藏形成机理与分布规律
		05 地球物理勘探
	地球物理学（070800）	01 地震波传播理论
		05 岩石物理学
专业型硕士研究生	资源与环境（085700）	01 地质工程

非常规油气成藏与地质评价团队

研究方向

· 非常规储层精细表征与评价

· 非常规油气成藏与地质评价

· 非常规油气资源评价

· 非常规油气构造与沉积环境分析

非常规油气地球物理探测团队

研究方向

· 固体地球物理与天然地震成因预测

· 地震波偏移成像及全波形反演

· 非常规储层压裂改造微地震监测

· 四维地震处理与油藏精细构造解释

导师信息

	姓名	职称/职务	拟招生专业	联系方式
地质资源与地质工程	宋岩	教授/博导	地质资源与地质工程	sya@petrochina.com.cn
	姜振学	教授/博导	地质资源与地质工程	jiangzx@cup.edu.cn
	罗群	研究员/博导	地质资源与地质工程	luoqun2002@263. net
	李卓	副研究员/博导	地质资源与地质工程	zhuo.li@cup.edu.cn
	杨威	副研究员/博导	地质资源与地质工程	yangw@cup.edu.cn
	刘冬冬	副研究员/博导	地质资源与地质工程	liudd@cup.edu.cn
	高之业	副研究员/硕导	地质资源与地质工程	gaozhiye@163.com
	唐相路	副研究员/硕导	地质资源与地质工程	tangxl@cup.edu.cn
	杨磊磊	副研究员/硕导	地质资源与地质工程	yangleilei@cup.edu.cn
	万云洋	副教授/博导	地质资源与地质工程	yunyangwan@126.com
地球物理	赵扬	研究员/博导	地球物理学	zhaoyangprof1@outlook.com
	姚刚	研究员/博导	地球物理学	yaogang@cup.edu.cn
	陈海潮	副研究员/硕导	地球物理学	chchao@cup.edu.cn
专业型博士	贾承造	院士/专业型博导	资源与环境（地质工程）	Jiacz@petrochina.com.cn
	郭旭升	院士/专业型博导	资源与环境（地质工程）	zzgxs@foxmail.com
	赵国屏	院士/专业型博导	资源与环境（地质工程）	gpzhao@sibs.ac.cn
	姜振学	教授/专业型博导	资源与环境（地质工程）	jiangzx@cup.edu.cn
	王红岩	教授级高工/专业型博导	资源与环境（地质工程）	wanghongyan69@petrochina.com.cn
	包书景	教授级高工/专业型博导	资源与环境（地质工程）	bsj6477@126.com

地质资源与地质工程



宋岩，教授，博士生导师。原中国石油大学（北京）非常规天然气研究院院长。十一届全国政协委员，两届国家973煤层气项目首席科学家，国家863计划资源环境领域主题专家。在煤层气成藏、常规和非常规天然气成藏和前陆盆地油气成藏地质理论研究方面取得了系统性和创新性的成果。多项成果获得国家和省部级奖励：发表论文200多篇、专著13部获国家科技进步一等奖1项、二等奖2项、省部级科技进步特等奖1项、一等奖5项。联系方式：sya@petrochina.com.cn



姜振学，教授，博士生导师。中国石油大学（北京）非常规油气科学技术研究院副院长。中国石油学会石油地质专业委员会油气运移学副组长，国家能源局页岩气标准化委员会委员。主要从事常规和非常规油气形成与分布、常规和非常规油气资源评价科研和教学工作。发表论文（第1、2作者）200余篇(其中SCI和EI收录60篇)，合著专著9部；先后参加国家自然科学基金、国家“973”、国家重大专项和局级项目四十余项；获省部级科技进步一等奖12项、二等奖3项、三等奖2项。联系方式：jiangzx@cup.edu.cn



罗群，博士，研究员，博士生导师，中国石油学会会员，“地质论坛”研究会会长。研究方向：非常规与常规油气成藏与地质评价。获省部级一等奖8项、二等奖6项、局级科技进步奖多项，发表学术论文150余篇，主著学术著作8部，授权发明专利6项，计算机软件著作权2项。联系方式：luoqun2002@263.net



李卓，博士，副研究员，博士生导师，研究方向：页岩气成藏与地质评价。获中国石油和化学工业联合会“创新团队奖”，2014年获中国石油和化学工业联合会“科技进步一等奖”，发表论文40余篇，授权发明专利4项。联系方式：zhuo.li@cup.edu.cn



杨威，博士，副研究员，博士生导师，校优秀青年学者，研究方向：非常规油气储层精细表征评价与构造保存条件研究。主持国家自然科学基金1项，在地学领域知名期刊发表论文40余篇，其中第一/通讯作者发表国际SCI论文20余篇。授权发明专利5项，现担任《石油科学通报》《Petroleum Science》青年编委，《Terra Nova》副主编。联系方式yangw@cup.edu.cn

科研人员



刘冬冬，博士，副研究员，博士生导师，研究方向：致密油气、页岩油气地质评价。主持国家自然科学基金1项，相关成果在地学领域知名期刊发表论文30余篇，其中第一/通讯作者发表SCI论文10余篇，授权发明专利4项。现担任《石油科学通报》青年编委。联系方式：liudd@cup.edu.cn



高之业，博士，副研究员，硕士生导师，研究方向：非常规油气储层评价，包括纳米孔隙结构表征、储层润湿性研究等。担任石油地质学领域国际知名SCI期刊《Marine and Petroleum Geology》 副主编。发表论文20余篇，其中第一作者发表论文10篇，授权发明专利3项。联系方式：gaozhiye@163.com



唐相路，博士，副研究员，硕士生导师，校青年拔尖人才。研究方向：非常规油气成藏与地质评价。在国内外知名期刊发表学术论文30余篇，其中第一作者SCI收录10余篇（1篇入选ESI全球前1%高被引论文，2篇为TOP期刊论文），授权发明专利3项。联系方式：tangxl@cup.edu.cn



杨磊磊，博士，副研究员，硕士生导师，研究方向：储层成岩作用与质量评价。目前主持国家自然基金1项，已发表论文30余篇。SPE、AAPG等国际协会会员，参与撰写ISO/TC265国际标准，担任AAPG BULLETIN等国内外期刊审稿人。联系方式：yangleilei@cup.edu.cn



万云祥，博士，副教授，博士生导师，校青年拔尖人才，研究方向：地层微生物地质学研究、微生物资源挖掘、快速检测等。参与国家自然科学基金等10余项，其它各类项目10余项。发表科研论文100余篇，著作3部，申请和授权专利20余项。联系方式：yunyangwan@126.com

地球物理



赵杨，博士，研究员，博士生导师，国家级青年高层次人才。研究方向：非常规地球物理、地震压裂监测、弹性波偏移成像。地球物理旗舰杂志Geophysics,副主编，担任SEG总研发委员会成员，非常规地球物理委员会成员，国际会议期刊论文50余篇，国际国内专利申请15个。联系方式：zhaoyangprof1@outlook.com



姚刚，博士，研究员，博士生导师，校优秀青年学者，研究方向：全波形反演、地震波偏移成像、地震波波场模拟等。在JGR、Geophysics、 Geophysical Prospecting等专业顶级期刊发表论文20余篇，第一作者13篇，国际会议论文20余篇，担任《Petroleum Science》副主编。授权发明专利4项。联系方式：yaogang@cup.edu.cn



陈海潮，博士，副研究员，硕士生导师，校青年拔尖人才，研究方向：强地面运动观测和模拟；地震检测、定位和震源机制反演；水力压裂微地震监测技术和应用。目前主持国家自然基金2项，发表论文10余篇，授权发明专利2项。联系方式：chchao@cup.edu.cn

专业型博导



贾承造，石油地质与构造地质学家；中国科学院院士；中国石油天然气股份有限公司教授级高级工程师；曾任中国石油天然气股份有限公司副总裁、总地质师兼中国石油勘探开发研究院院长；2001年获国家科进步奖一等奖。现任南京大学能源科学研究院院长、中国石油学会理事长、国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”专职技术责任人、国家973项目咨询组成员、能源专家组组长联系方式：Jiacz@petrochina.com.cn



郭旭升，石油天然气地质和勘探专家；中国工程院院士；现任中国石化勘探分公司总经理2014年获得我国地质科学界最高荣誉李四光地质科学奖，获得国家科学技术进步奖、省部级一等及以上科学技术进步奖、技术发明奖，第一发明发明专利7项。联系方式：zzgxs@foxmail.com

专业型博导



赵国屏，分子微生物学家；中国科学院院士；1982年毕业于复旦大学生物学系，1990年获美国印第安那州普度大学生物化学博士学位，并留校做博士后研究。1995年起任职中国科学院上海植物生理研究所微生物次生代谢调控实验室。现任国家人类基因组南方研究中心执行主任，生物芯片上海国家工程中心主任，中科院上海生命科学研究院学术委员会副主任等职务。联系方式：gpzhao@sibs.ac.cn



姜振学，教授，博士生导师。中国石油大学（北京）非常规油气科学技术研究院副院长。中国石油学会石油地质专业委员会油气运移学副组长，国家能源局页岩气标准化委员会委员。主要从事常规和非常规油气形成与分布、常规和非常规油气资源评价科研和教学工作。发表论文（第1、2作者）200余篇(其中SCI和EI收录60篇)，合著专著9部；参加国家自然科学基金、国家“973”、国家重大专项和局级项目四十余项；获省部级科技进步一等奖11项、二等奖3项、三等奖2项。联系方式：jiangzx@cup.edu.cn

专业型博导



王红岩，博士，教授级高级工程师，中国石油勘探开发研究院页岩气研究所所长，国家能源页岩气研发（实验）中心副主任，中国石油高级技术专家，国家科技部中青年科技领军人才，中组部和人事部“万人计划”首批科技领军人才，第八届黄汲清青年地质科学技术奖。主要从事页岩气、煤层气等非常规油气勘探开发研究，长期担任国家重大专项项目长，在国家页岩气勘探开发理论技术、发展规划和关键装备研发取得突出成绩，发表论文100余篇，出版专著10余部，获国家科技进步奖一项，省部级奖励20余项。联系方式：wanghongyan69@petrochina.com.cn



包书景，教授级高工，中国地质调查局油气资源调查中心页岩气室主任、南方页岩气基础地质调查工程首席，中国科协页岩气首席科学传播专家，自然资源部自然资源首席科学传播专家。主持或参加完成了三十余项科研项目，获中国地质调查局科技进步特等奖一次，获中国石化科技进步成果一等奖1项、二等奖2项、三等奖1项，在国际、全国性学术会议和核心期刊以上刊物上发表学术论文三十余篇，主编和参与编写专著4部。联系方式：bsj6477@126.com

合作与交流

序号	合作单位	主要内容	形式
1	美国斯坦福大学（Standford University）	岩石力学与储层评价	技术交流与合作
2	美国奥克拉荷马大学（Oklahoma University）	非常规储层地球物理探测	合作研究、研究生培养
3	美国科罗拉多矿业学院非常规天然气研究院（Unconventional Natural Gas Institute,Colorado School of Mines）	非常规油气研究	学术交流
4	美国莱斯大学（Rice University）	非常规油气国外培训	联合培训
5	加拿大联邦地质调查局（Geological Survey of Canada）	非常规油气资源评价	技术交流与合作
6	澳大利亚联邦科学与工业研究机构页岩研究中心（Shale Research Center,CSIRO）	非常规油气资源评价	技术交流与合作
7	香港中文大学（The Chinese University of Hong Kong）	非常规油气研究	技术交流与合作
8	美国犹他大学（The University of Utah）	非常规油气研究	科学研究、研究生联合培养
9	澳大利亚新南威尔士大学（The University of New South Wales）	非常规油气勘探开发	科学研究、研究生联合培养

学术交流



英国伦敦自然历史博物馆研究员
Prof. Baruch Spiro来访交流



法国雷恩第一大学 Marc Jolivet 教授
来访交流



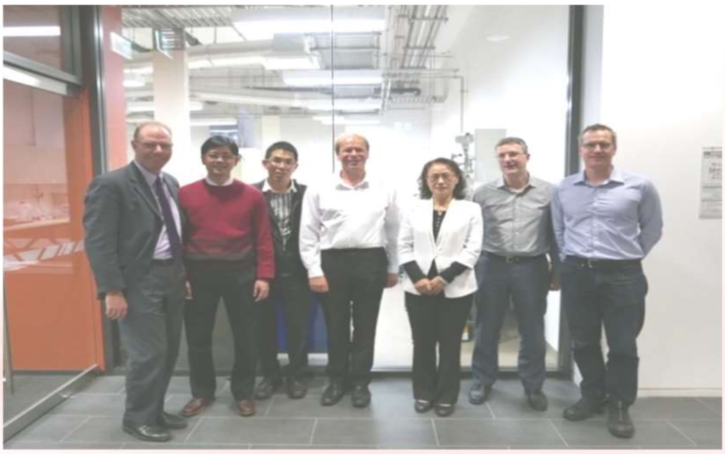
德克萨斯大学阿灵顿分校胡钦红教授
来访交流



与莱斯大学签署合作协议并建立休斯
顿联合研发中心



参加“细粒沉积体系与非常规油气资
源”国际学术研讨会



赴澳大利亚新南威尔士大学访问交流

学术交流



赴澳大利亚CSIRO访问交流



阿联酋哈利法大学教授代表团来访交流



参加金砖国家青年峰会



参加中国油气论坛



地质团队专场学术交流



举办研究生学术论坛

在校生活



2019春季运动会



女生节活动



新生入学教育



学术微沙龙



哈里伯顿宣讲



毕业生动员会

在校生活



定向越野活动



研究生羽毛球赛



研究生乒乓球赛



读书报告会



参观展览馆



研究生篮球友谊赛

在校生活



志愿服务活动



非常规趣味足球赛



中特学习讲座



非常规辩论赛



十佳集体交流会



“十九大”精神竞赛活动

页岩纳米尺度孔隙的观测实验平台

高分辨率扫描电镜 2台，微米CT 2台，纳米CT 1台








微米CT，纳米CT：毫米至厘米尺度样品的微米精度扫描、纳米精度扫描、三维无损成像、样品均质性及密度差异性观察；适用于致密砂岩泥页岩等岩心扫描。

高分辨率扫描电子显微镜：纳米精度、微米视域的三维成像（形貌、密度），纳米精度、毫米视域的二维成像（形貌、密度），纳米至微米精度的二维、三维元素分析。

非常规储层孔隙结构定量表征实验平台

高压压汞仪 1台、低压氮气吸附仪 2台、低场核磁设备1台、
自发渗吸装置3套



压汞仪



N_2吸附仪



CO_2吸附仪



低场核磁



自发渗吸装置

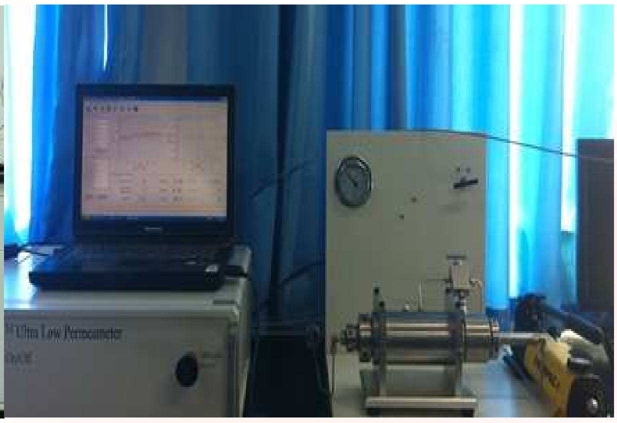
CO_2吸附， N_2吸附，高压压汞用于页岩储层全孔径表征；低场核磁共振，自发渗吸用于页岩储层连通性研究。

非常规储层物性和含气性测试平台

He气孔隙度仪 1台、脉冲渗透率仪 1台、基质渗透率仪 1台、高压等温吸附仪 2台







He气孔隙度仪、脉冲渗透率仪、基质渗透率仪：主要用于砂岩，泥页岩储层基质孔隙度、渗透率分析测试；

高压等温吸附仪主要用于泥页岩干煤样单组分或多组分气体的吸附/脱附实验。

非常规油气成藏物理模拟实验平台

成藏过程充注模拟装置3台，配套地化分析仪1台。



非常规油气冲注模拟装置



非常规成藏过程模拟装置

成藏过程充注模拟装置，配套地化分析仪：主要用于模拟页岩油气在地下充注、聚集成藏以及成藏后散失全过程



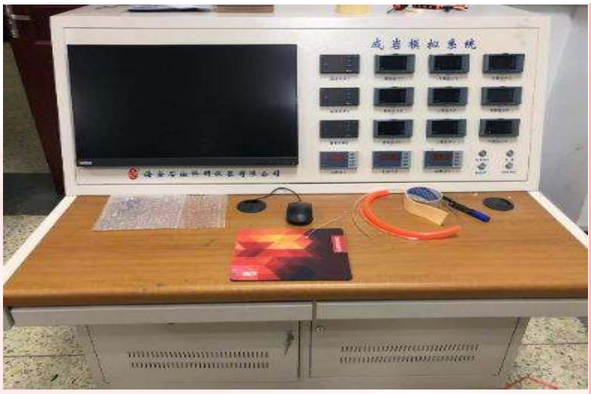
非常规油气成藏模拟配套地化分析设备



页岩气散失模拟实验装置



非常规油气成岩-成储-成藏物理模拟系统



系统操作面板

页岩热模拟装置：用于模拟页岩储层全过程多尺度孔隙结构动态演化过程

承担高级别项目情况

- 国家油气重大专项:

项目34《页岩气资源潜力评价方法与勘查技术攻关》专题

项目35《四川盆地及周缘页岩气形成富集条件、选区评价技术与应用》课题

- 国家“973”和重点研发计划：

《川滇地区多尺度高分辨率结构模型与变形特征及强震孕育发送背景研究》

《中国陆相致密油(页岩油)形成机理与富集规律》专题

国家自然科学基金:

重大项目：

《页岩气差异富集机理》专题

重点项目：

《页岩油气甜点预测的储层地质力学基础理论研究》

《致密砂岩微米-纳米级孔喉网络系统石油充注、运移和聚集机理》

《非常规油气富集机制与地球物理甜点识别》

面上项目：**15 项**

青年基金项目：**8 项**

科研奖励情况


中国石油和化学工业
科学技术奖励
证书
证书

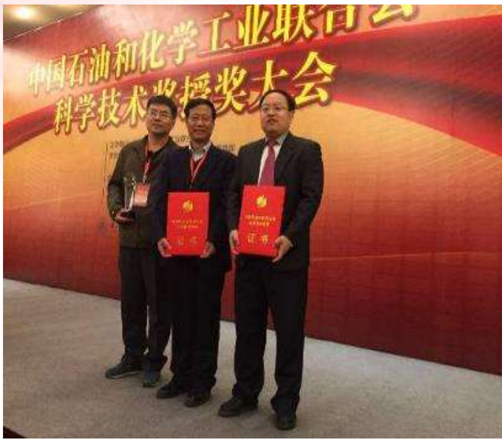

全国石油和化工科技创新大会


中国石油和化工自动化行业科学技术奖
国家科技部批准
2014年度科技进步一等奖
获奖项目：地震成藏学理论及其勘探实践
完成单位：中国石油大学（北京）
2015.11.22


证书
为表彰在促进石油和化工科技进步中做出突出贡献者，特颁发此证书，以资鼓励。
奖　　种：科技进步奖
奖励等级：一等奖
奖励日期：2016年11月10日
证书号码：2016JBR0326-1-1
中国石油和化学工业联合会


证书
为表彰在促进石油和化工科技进步中做出突出贡献者，特颁发此证书，以资鼓励。
奖　　种：技术发明奖
奖励等级：二等奖
奖励日期：2016年11月10日
证书号码：2016FMR0036-2-2
中国石油和化学工业联合会


证书
为表彰在促进石油和化工科技进步中做出突出贡献者，特颁发此证书，以资鼓励。
奖　　种：科技进步奖
奖励等级：一等奖
奖励日期：2016年11月10日
证书号码：2016JBR0025-1-5
中国石油和化学工业联合会

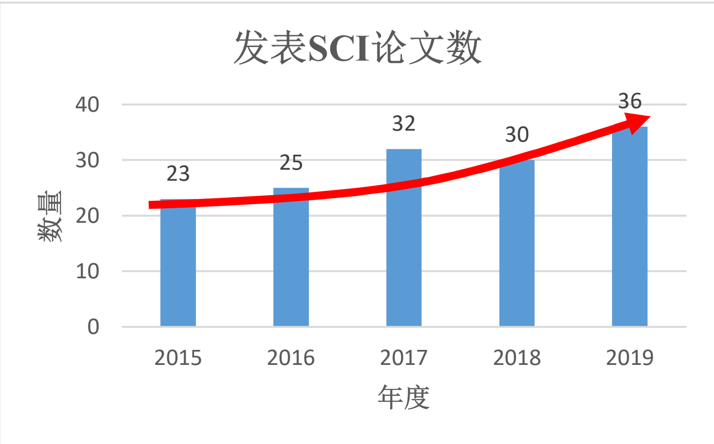



证书
KEJIJIANGLI
为表彰在促进石油和化工科技进步中做出突出贡献者，特颁发此证书，以资鼓励。
奖　　种：科技进步奖
获奖项目：中国西部陆相致密油成藏富集机理及其应用成效
获奖单位：中国石油大学（北京）
奖励等级：一等奖
奖励日期：2019年12月05日
证书号码：2019JB0044-1-1
中国石油和化学工业联合会

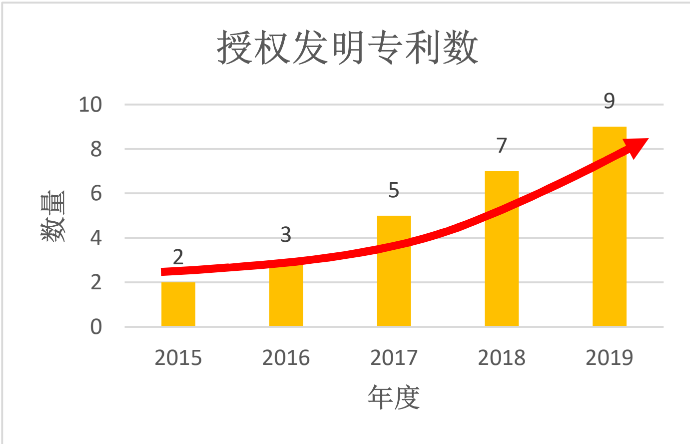

全国石油和化工科技创新大会

论文发表与论著出版情况

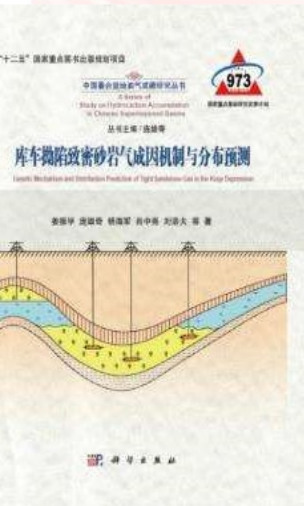
- 近5年发表SCI收录论文146篇，授权发明专利26项
- 出版专著丛书1套，专著4部



研究院发表SCI论文数统计



研究院发明专利授权数统计









“十三五”期间新增科研成果情况

“十三五”期间科研成果：

- 承担重点研发项目**2项**；重大专项课题**1项**，任务**4项**，自然科学基金**26项**；横向课题**28项**，经费总计**2458万元**
- 牵头获省部级（协会）科研奖项**10项**（牵头获省部级一等奖**2项**）
- 发表SCI论文**220余篇**，其中Nature子刊**1篇**，1区**20篇**，2区**100余篇**，ESI全球前**1%**高被引论文**7篇**
- 申请发明专利**55项**，授权**35项**

- 新增国家科技重大专项课题**1项**，任务**4项**；
- 新增国家自然科学基金重点项目**3项**，面上**15项**，青年**8项**
- 新增中石油—中国石油大学（北京）战略合作项目课题**3项**，专题**8项**

特色理论技术及其应用情况

1. 页岩岩相划分及评价技术

■ 结合陆相页岩沉积结构、构造、矿物组分、有机质丰度及类型和岩石结构特征，精细划分陆相页岩岩相。相关技术获得授权发明专利3项。

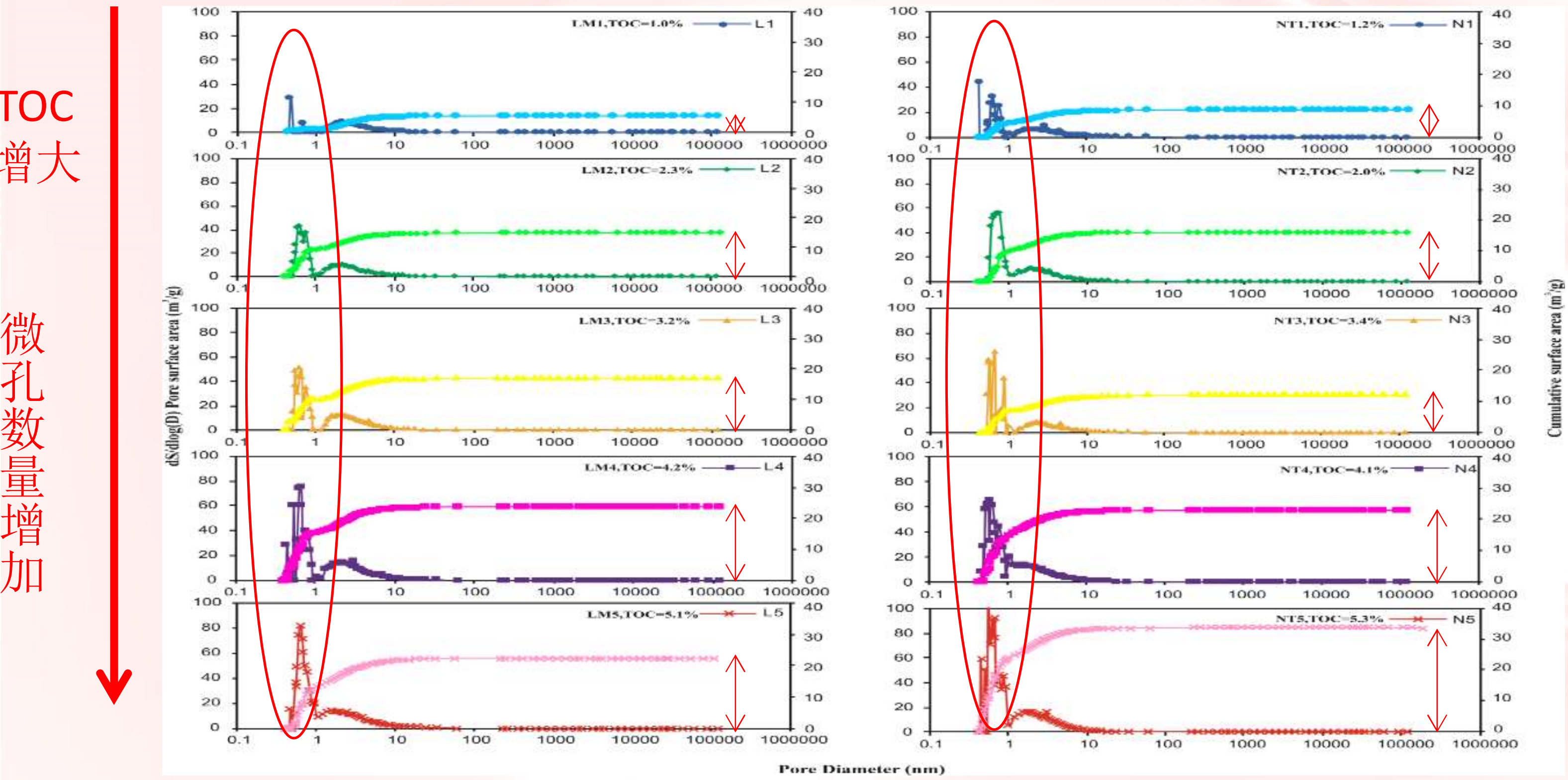
岩相类型	岩心特征	微观特征	主要特征	沉积成因
富有机质纹层状泥质灰岩相	 牛页1，33465m	 纹层状泥质隐晶灰岩，牛页1井	富含有机质泥质纹层与灰质纹层互层，方解石隐晶结构；岩心表现为明暗相间的细密纹层状构造	季节性悬浮和化学作用交替沉积反映静水环境
		 牛页1井 3446.55m，粒状显微晶方解石纹层	富含有机质泥质纹层与灰质纹层互层，方解石显微晶结构；岩心表现为明暗相间的纹层状构造	
	 河130	 牛页1井，3446.27m	富含有机质泥质纹层与灰质纹层互层，方解石柱纤状结构；岩心表现为发育白色方解石纹层或透镜体	静水沉积环境成岩作用改变方解石纹层，影响岩石原始构造

岩相类型	岩心特征	微观特征	主要特征	沉积成因
富有机质纹层状灰质泥岩相	 纹层状灰质泥岩，利页1井	 纹层状灰质泥岩，利页1井	富含有机质泥质纹层与灰质纹层互层，方解石隐晶结构；岩心表现为明暗相间的纹层状构造	季节性悬浮和化学作用交替沉积，反映静水环境
富有机质纹层状泥岩相		 纹层状泥岩，利页1井	泥质纹层与有机质纹层互层；岩心颜色深，纹层细密	静水还原环境
富有机质层状灰质泥岩相		 罗69，层状泥质隐晶灰岩	泥质与隐晶方解石较均匀相混，总体呈层状；岩心颜色较深，基本不显纹层	机械沉积与化学沉积同时进行，水体较动荡

2. 非常规储层全孔径孔隙结构定量表征技术

- 利用CO_2吸附表征微孔，N2吸附表征中孔，高压压汞表征宏孔，利用加权平均连接不同方法的表征区间，建立页岩全孔径孔隙结构表征方法。相关技术获得授权发明专利3项。

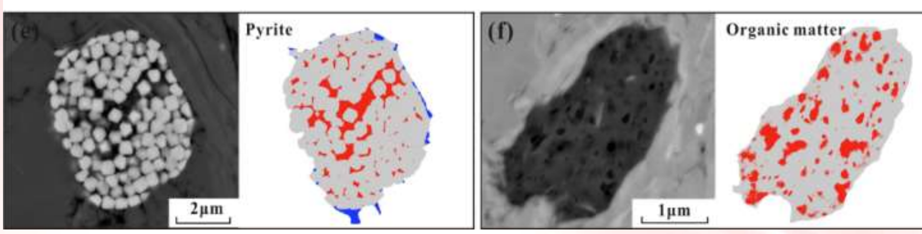
随TOC增加和成熟度增大，高演化程度页岩中微孔增加，宏孔降低



3.页岩基质孔隙分类识别及定量分析技术

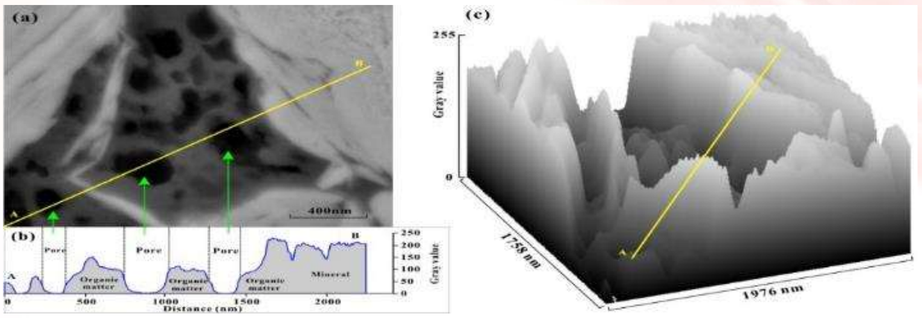
- 通过创新图像识别技术，实现有机质孔和无机质孔的定量表征，深化了有机质孔在页岩孔隙中的相对贡献的认识。**相关技术获得授权发明专利1项。**

基于聚焦离子束电镜（FIB-SEM）
获得页岩组分的图像



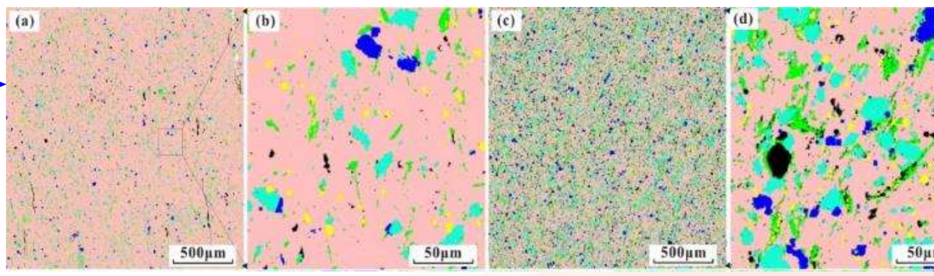
↓

基于ImageJ软件获得页岩组分
的孔隙分布及面孔率



↓

基于微区矿物定量分析法获得
页岩组分含量

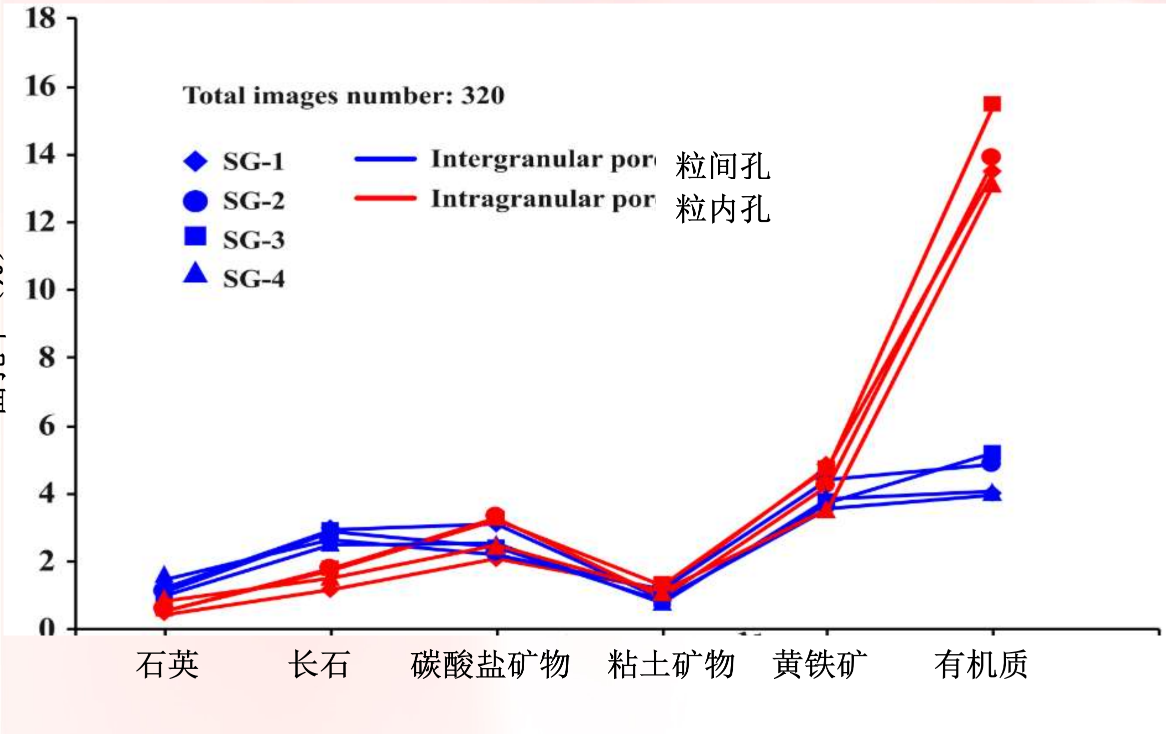


↓

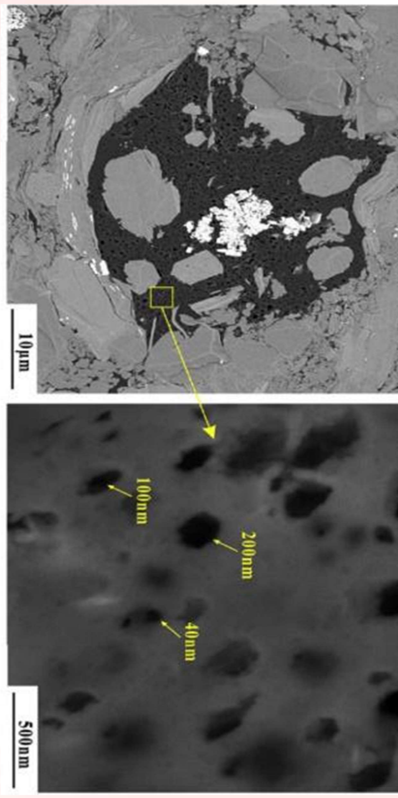
综合得到页岩组分的孔隙特征

3. 页岩基质孔隙分类识别及定量分析技术

- 通过创新图像识别技术，实现有机质孔和无机质孔的定量表征，深化了有机质孔在页岩孔隙中的相对贡献的认识。相关技术获得授权发明专利1项。

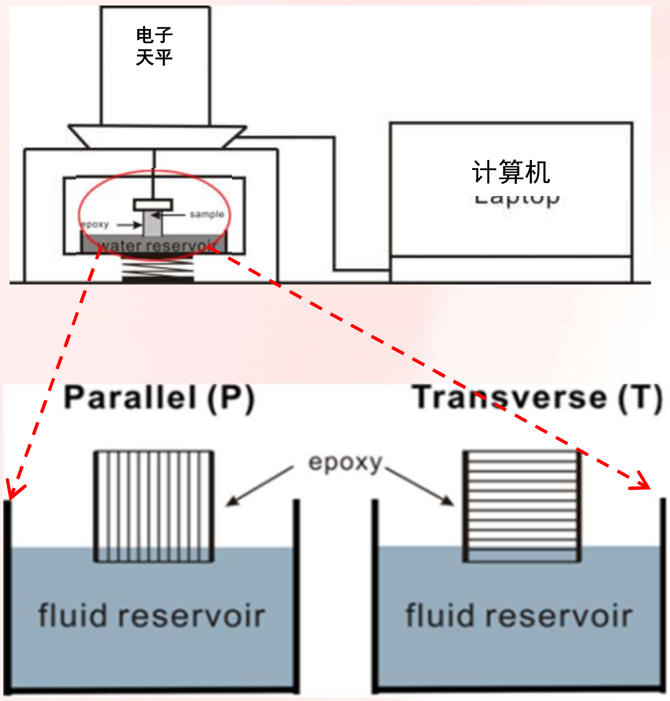


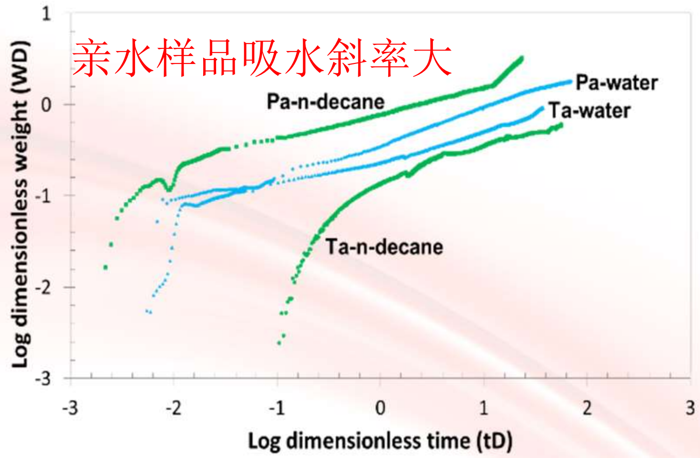
四川盆地五峰组—龙马溪组页岩组分的面孔率分布

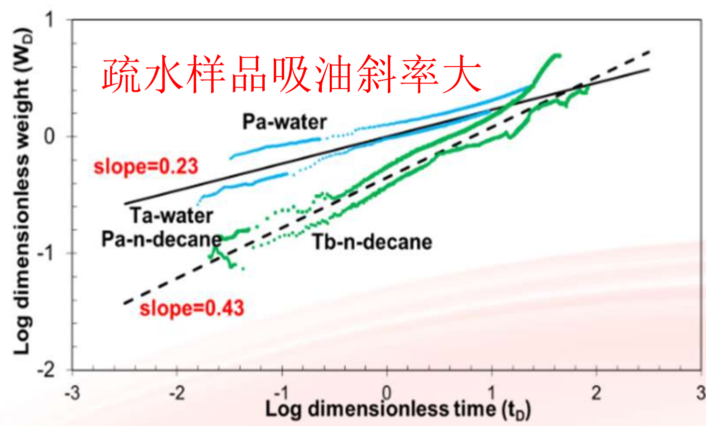


4. 基于自发渗吸的非常规储层润湿性和连通性评价技术

- 针对页岩页理发育特点，创新性地提出利用导向型自发渗吸实验表征页岩润湿性技术。相关技术获得授权发明专利1项。

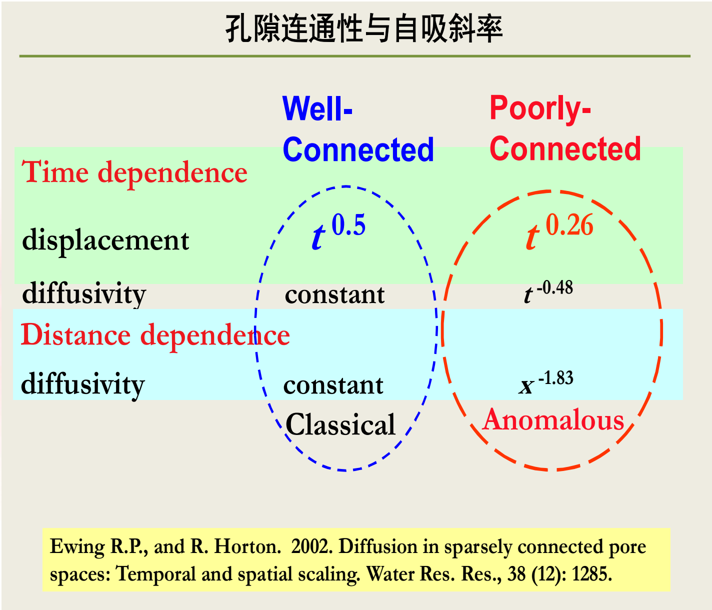


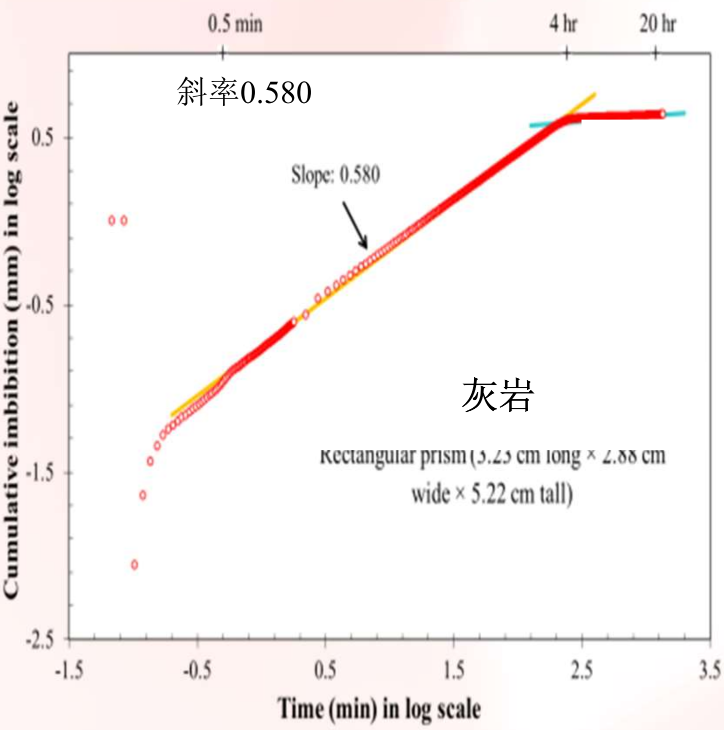


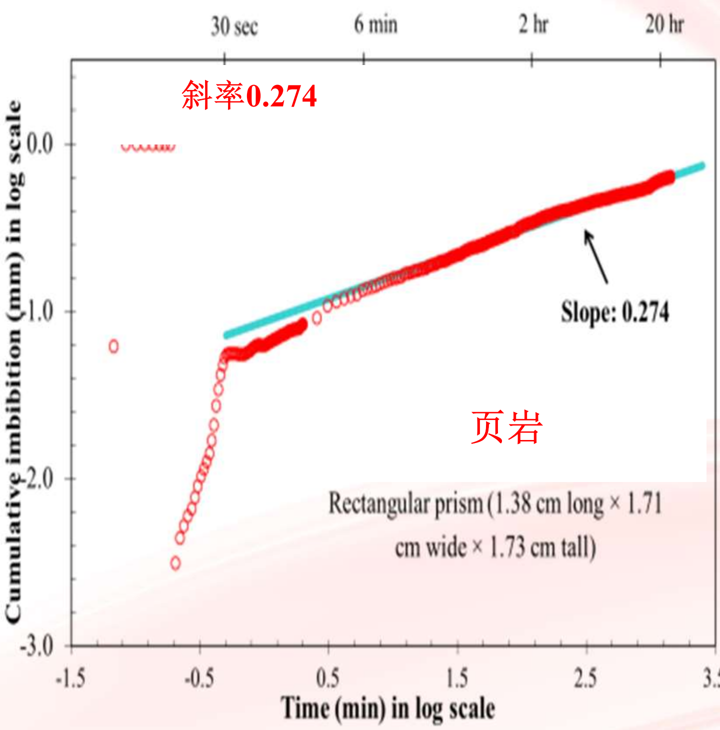


4. 基于自发渗吸的非常规储层润湿性和连通性评价技术

- 基于自吸水实验，页岩水自吸斜率明显低于0.5，显示了其亲水孔隙连通性较低，**相关技术获得授权发明专利1项。**

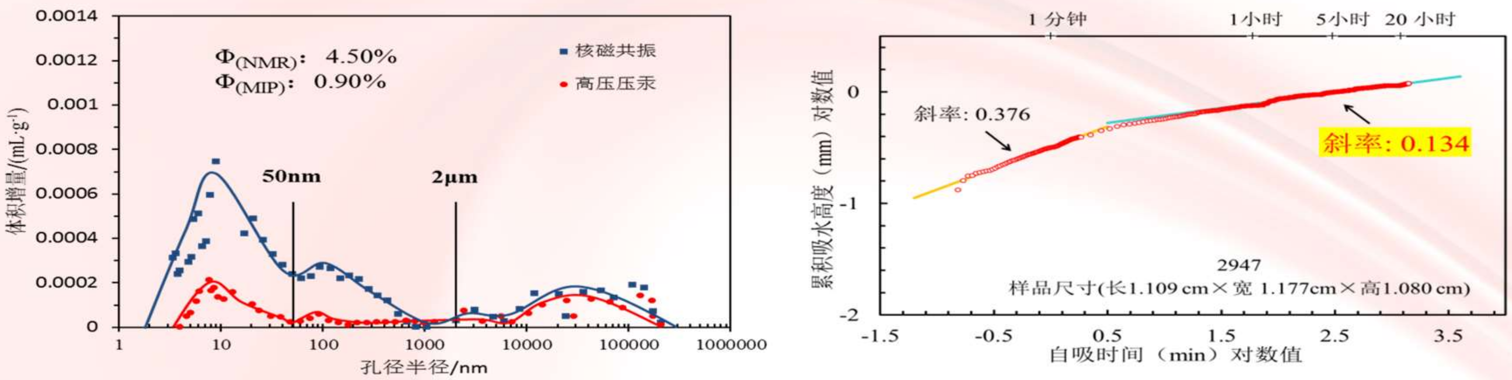




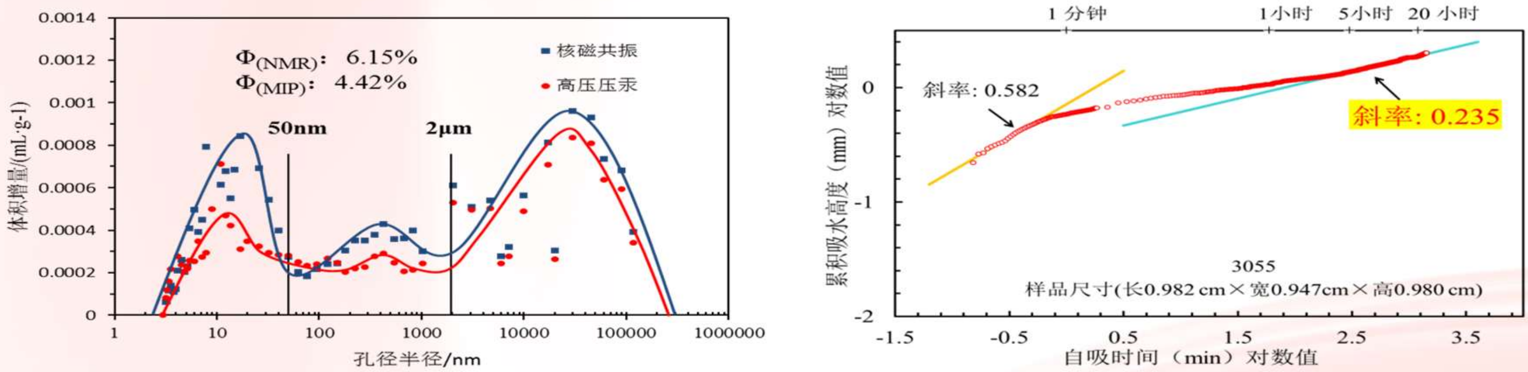


5. 基于NMR和高压压汞联测的储层连通率评价技术

- NMR测得全部孔隙，高压压汞测得连通孔隙，二者联测确定非常规孔隙储层孔隙连通率，相关技术获得授权发明专利1项。



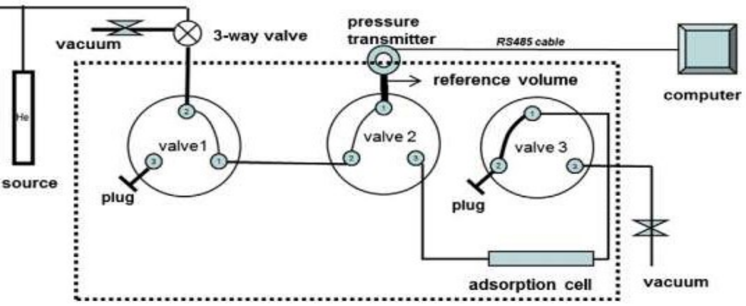
块状（2947m）

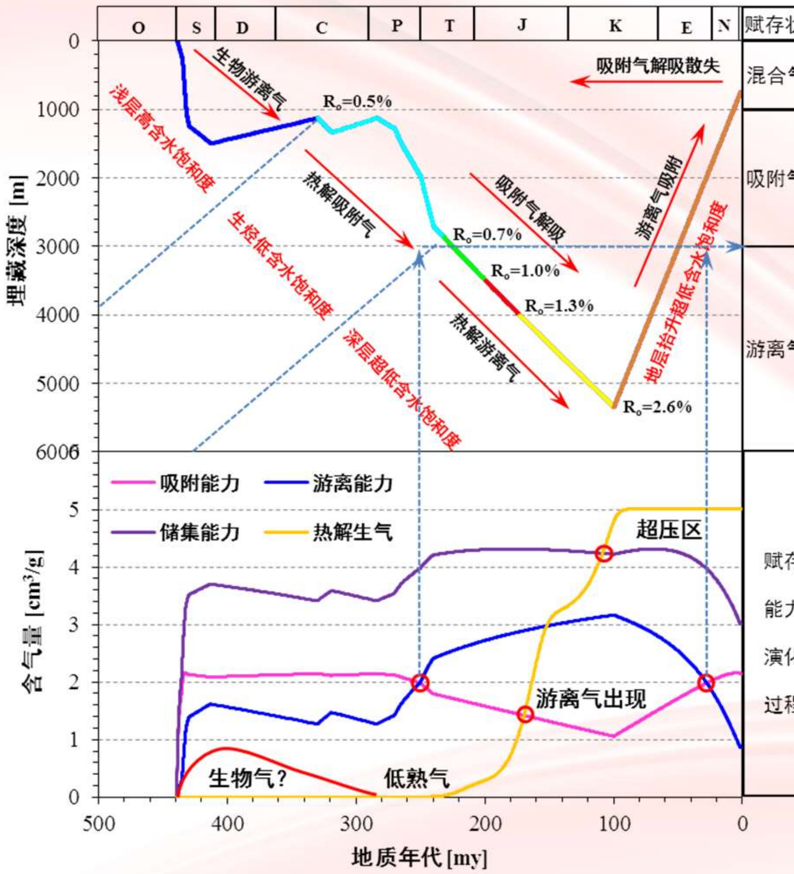


6. 页岩含气性定量评价技术

- 开展系列的高温高压甲烷等温吸附实验，建立页岩含气量预测模型，相关技术获得授权发明专利1项。







6. 页岩含气性定量评价技术

■ 开展系列的高温高压甲烷等温吸附实验，建立页岩含气量预测模型，相关技术获得授权发明专利1项。

◆ 预测模型：基于兰氏公式温压耦合方程

$$V=\frac{(0.4922TOC-0.0106T+2.0586)P}{P+e^{(\frac{-1325.4314}{T+273.15}+4.7982)}}$$

$$V_{free}=\frac{p\phi(1-S_w)T_0}{zTp_0\rho_{shale}}$$

◆ 假设条件：压力梯度（10Mp/km）

地温梯度（30˚C/km）

◆ 随温度升高压力增加的耦合控制作用，页岩吸附气含量随深度的增加先增大后减小，浅层压力的作用是主要的，深层温度的作用是主要的

◆ 随页岩有机质丰度的增加，达到页岩最大吸附量的深度逐渐增加（800~1350米）（与前人研究500~2000米，有较好的吻合）

V_{free}=游离气含量, cm³/g

P=页岩储层地层压力, MPa

T=页岩储层地层温度, K

P_0=标况压力, 0.1Mpa

T_0=标况温度, 273.15K

ρ_{shale}=页岩密度, g/cm3

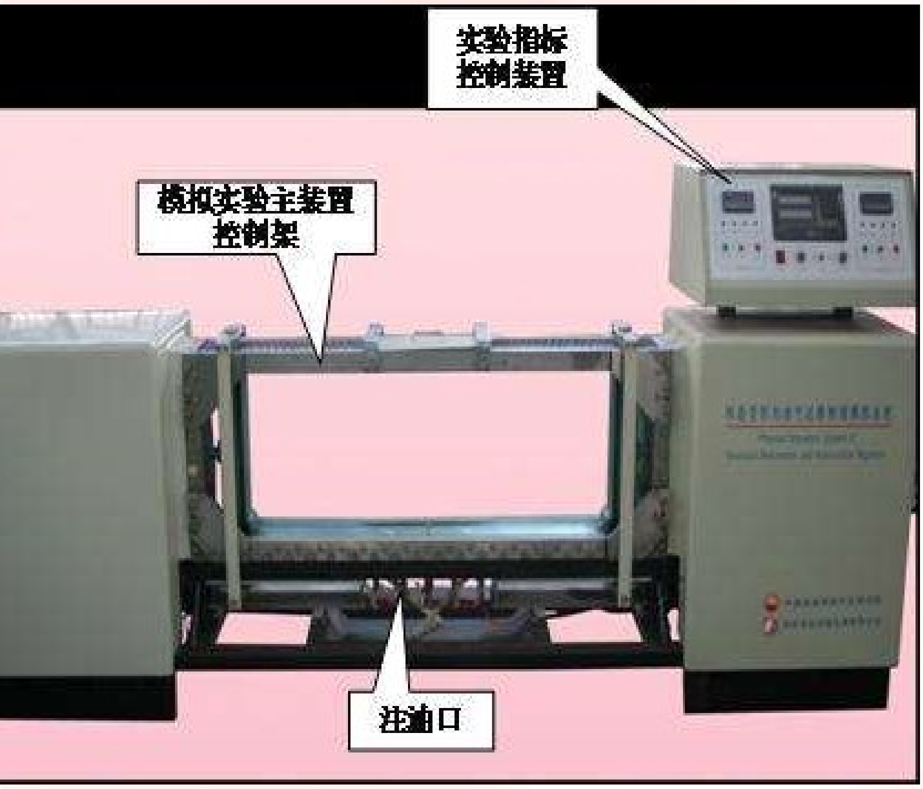
Φ=页岩储层孔隙度

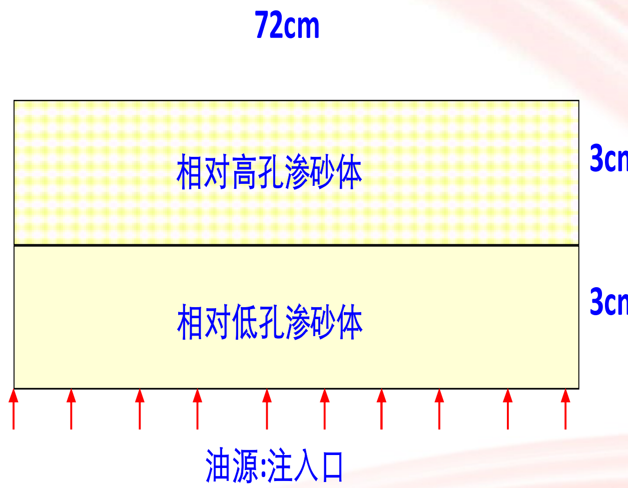
S_w=页岩储层含水饱和度

Z=甲烷气体压缩因子

7. 致密油运聚成藏与破坏物理模拟实验技术

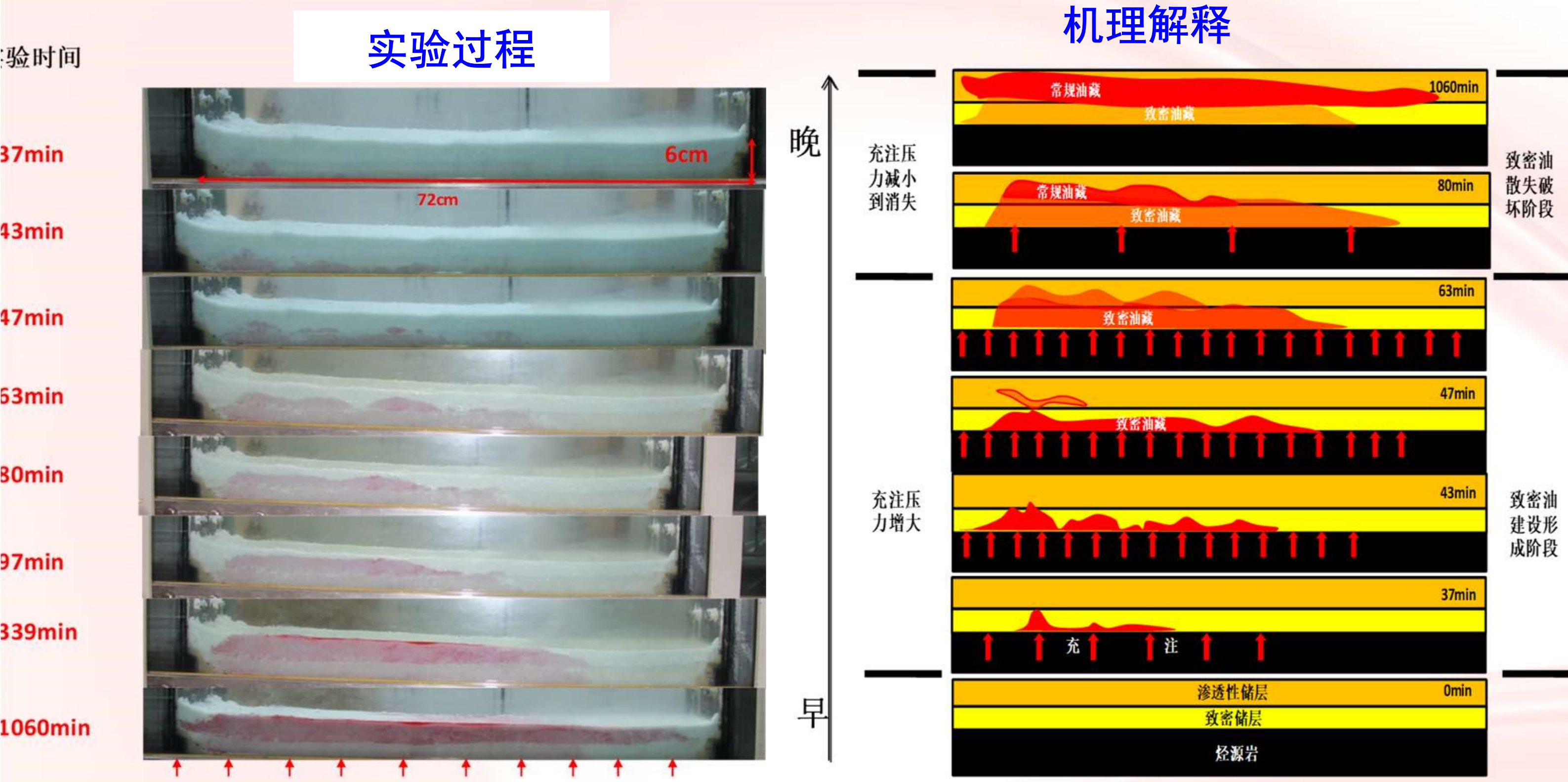
- 通过模拟上覆地层为常规储层的下源上储组合致密油运移、聚集、散失过程，揭示致密油运、聚成藏与保存的动力学机制，相关技术获得授权发明专利1项。





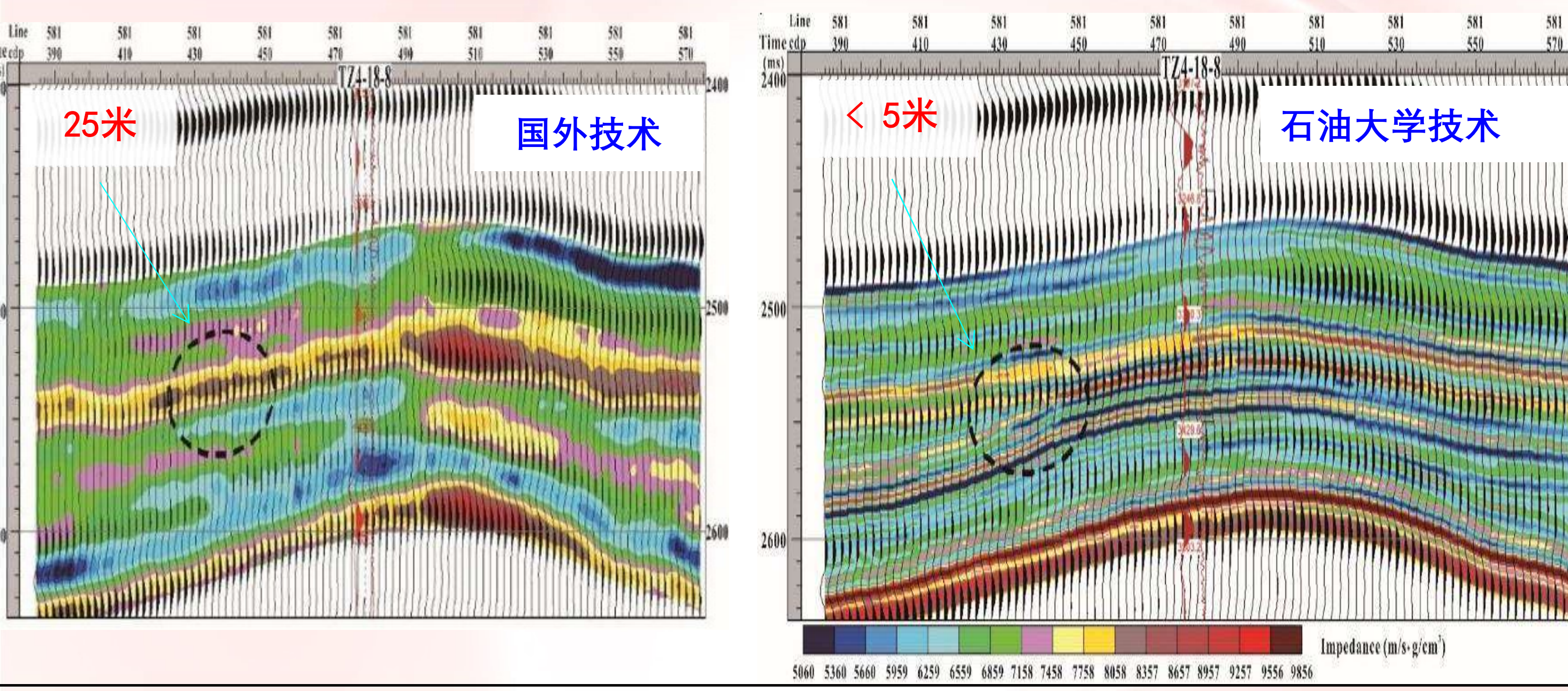
7. 致密油运聚成藏与破坏物理模拟实验技术

■ 通过模拟上覆地层为常规储层的下源上储组合致密油运移、聚集、散失过程，揭示致密油运、聚成藏与保存的动力学机制，相关技术获得授权发明专利1项。



8. 薄层致密砂岩复杂油气藏识别技术

- 创新了地震相控非线性随机反演技术，使深部薄互层识别精度从25米提高到5米，解决了致密砂岩复杂油气藏识别难题，准确率达到87%，相关技术获得授权发明专利3项，获得省部级科技进步一等奖1项。

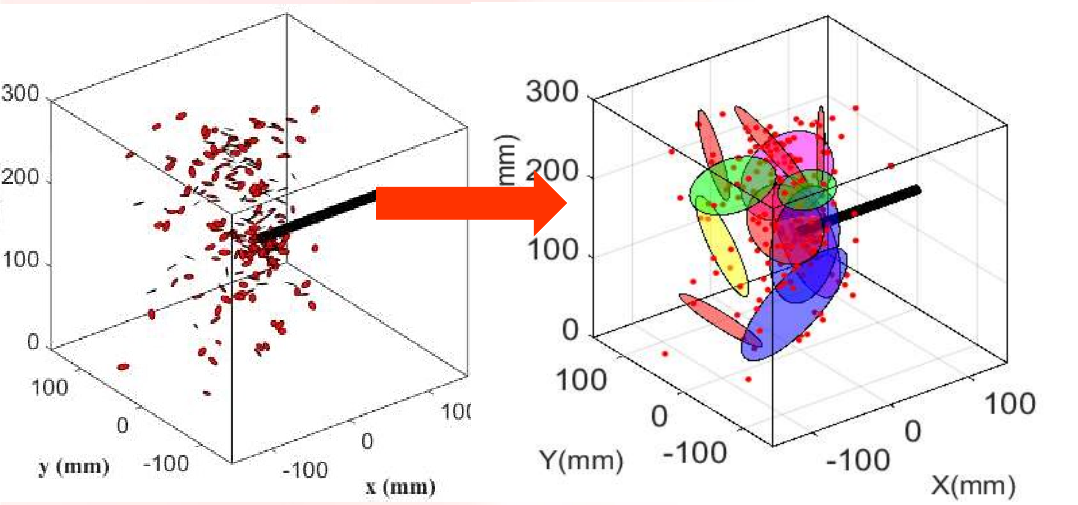


9. 致密储层改造监测与定量评价技术

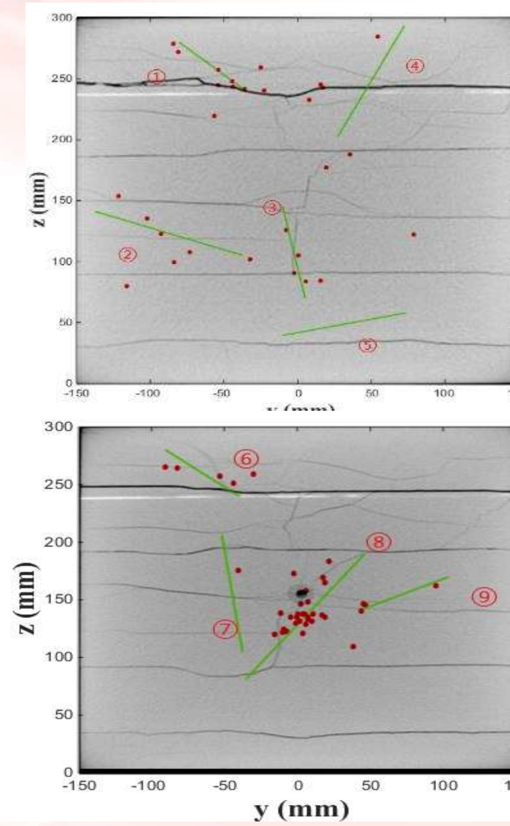
- 创新发展了快速自动微震事件检测、高精度相对定位、破裂机制反演等方法，大幅度提高弱事件检测能力和定位精度，改善了微地震震源机制反演的稳定性和可靠性，形成了储层改造微震监测技术体系，相关技术获得授权发明专利1项。

声发射空间分布与震源机制解

震源机制解优化的DFN模型



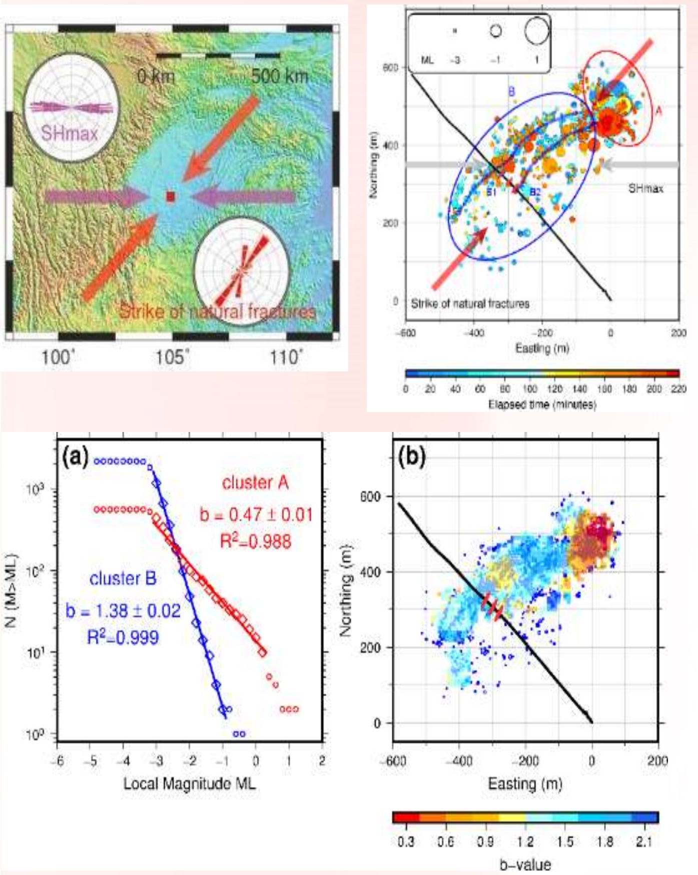
震源机制解优化的DFN模型



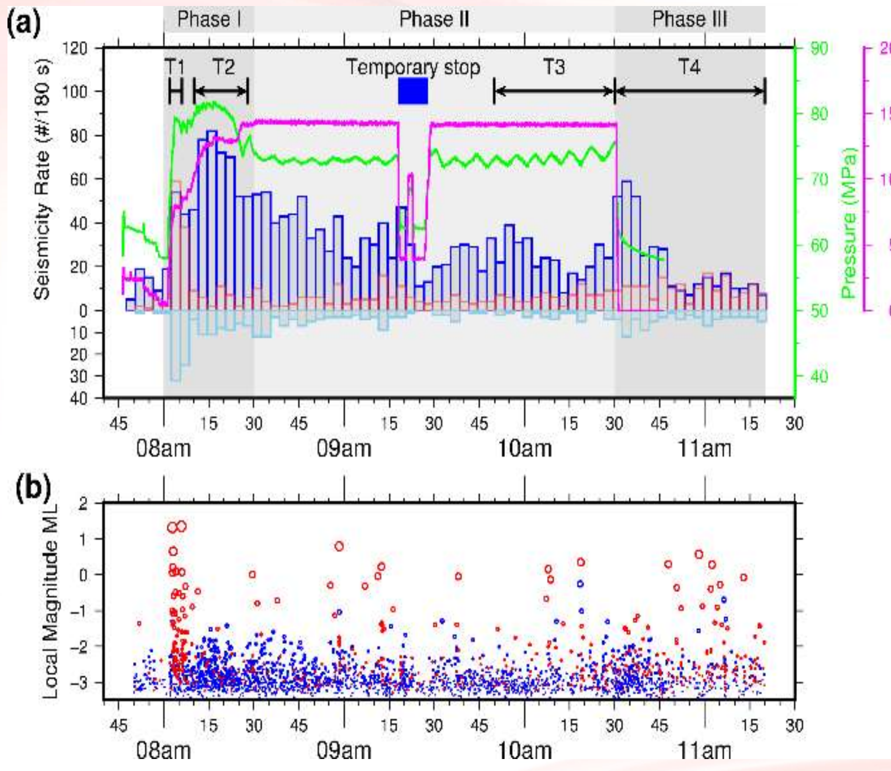
DFN模型与
CT扫描结果对比

9. 致密储层改造监测与定量评价技术

- 创新发展了快速自动微震事件检测、高精度相对定位、破裂机制反演等方法，大幅度提高弱事件检测能力和定位精度，改善了微地震震源机制反演的稳定性和可靠性，形成了储层改造微震监测技术体系，相关技术获得授权发明专利1项。



b值空间分布



微震事件时空群集特征

代表性成果

- 成果之一：页岩储层孔隙结构定量表征
- 成果之二：构造背景及演化对页岩游离气富集的控制机理
- 成果之三：页岩含油性和页岩油可动性的主控因素

代表性成果之一

页岩储层孔隙结构定量表征

相关成果发表在JCR 二区杂志《Fuel》《Energy & Fuel》《Marine and Petroleum Geology》等期刊发表论文27篇，ESI前1%高被引论文4篇，相关授权发明专利9项

问题提出

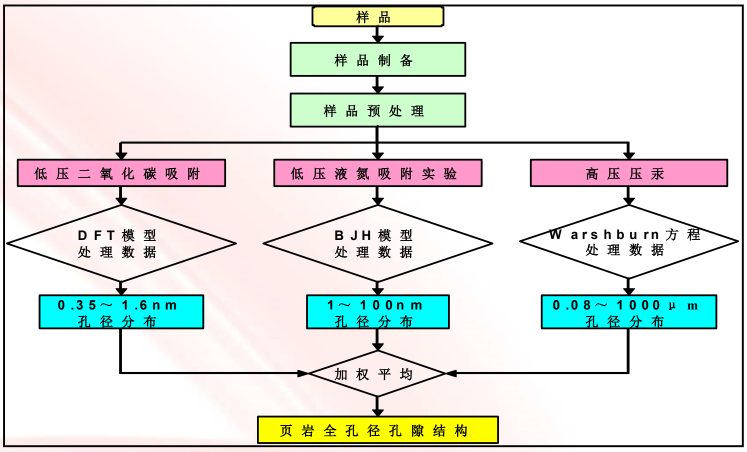
1、页岩全孔径孔隙结构特征?

2、有机质孔特征及其对页岩孔隙的贡献?

3、陆相页岩中的主要孔隙类型?

1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

- 利用CO_2吸附表征微孔，N_2吸附表征中孔，高压压汞表征宏孔，利用加权平均连接不同方法的表征区间，建立页岩全孔径孔隙结构表征方法



表征宏孔



汞仪AutoPore V系列

表征中孔

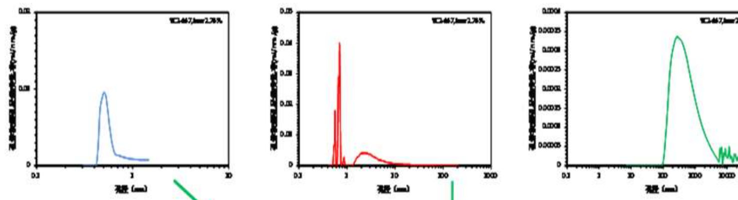


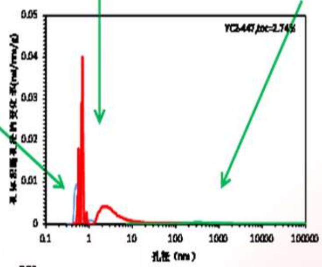
N2吸附仪（NOVAe系列）

表征微孔



CO2吸附仪（Autosorb-iQ）

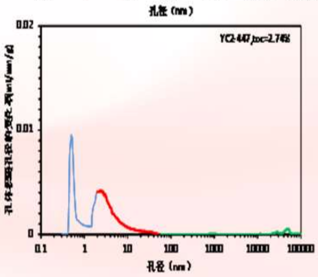




找出可靠区间

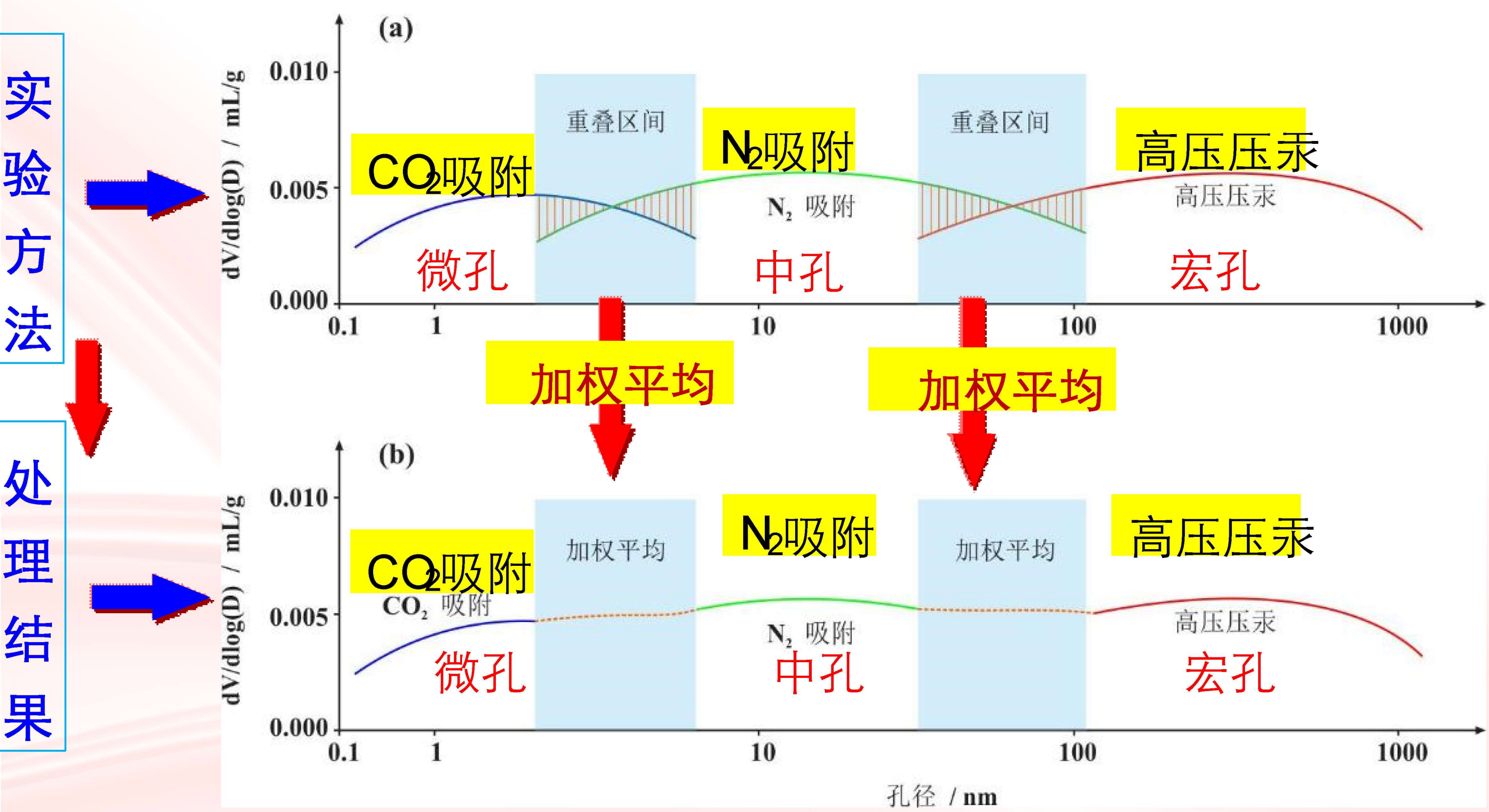
对不可靠区间进行加权平均处理

$$\bar{x}=\frac{x_1f_1+x_2f_2+\cdots+x_kf_k}{n}$$



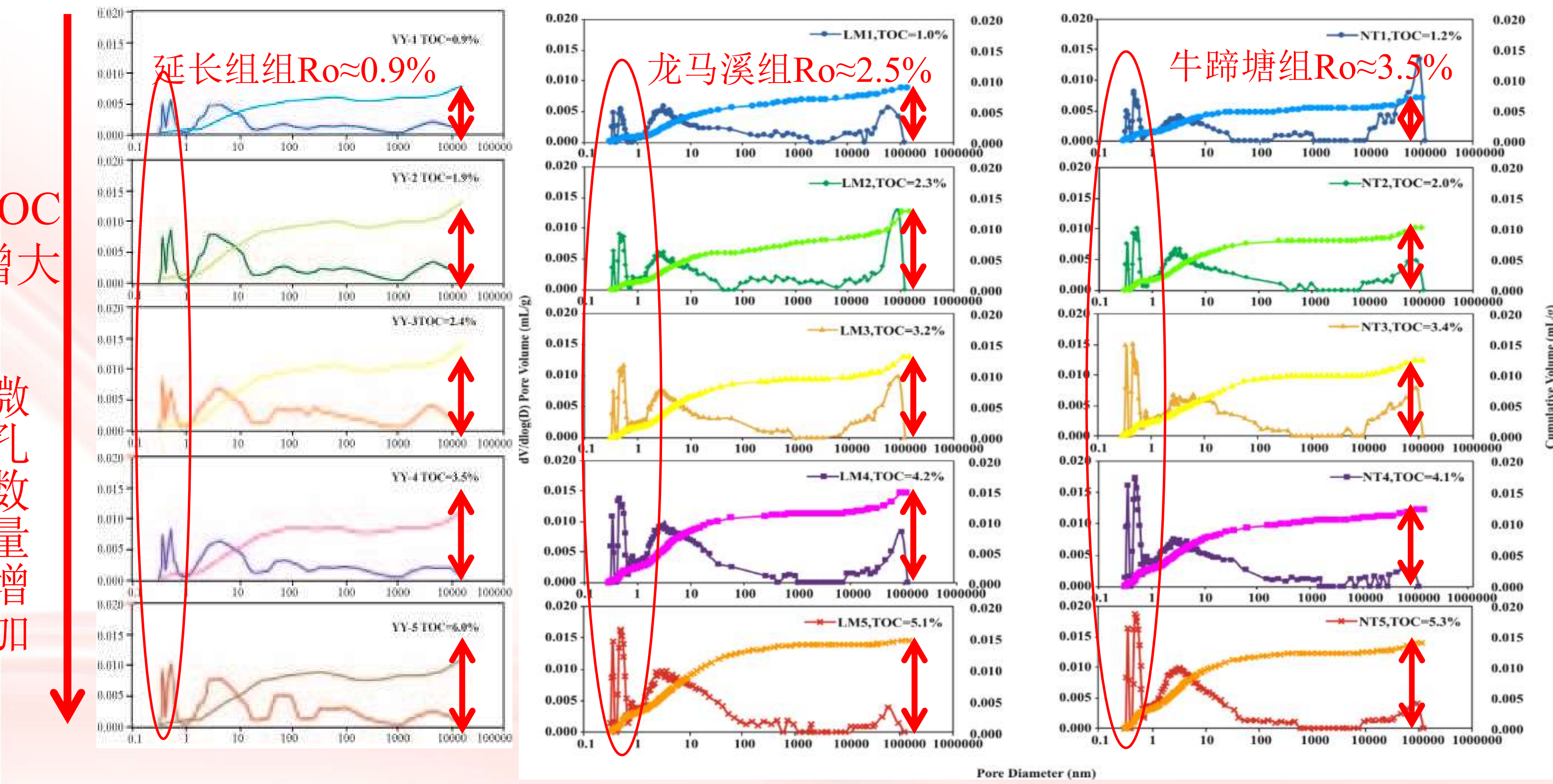
1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

■ 利用加权平均法处理2～8nm和80～160nm的孔径重叠区间，揭示页岩全孔径孔隙结构特征



1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

- 随TOC增加和成熟度增大，高演化程度页岩中微孔增加，宏孔降低

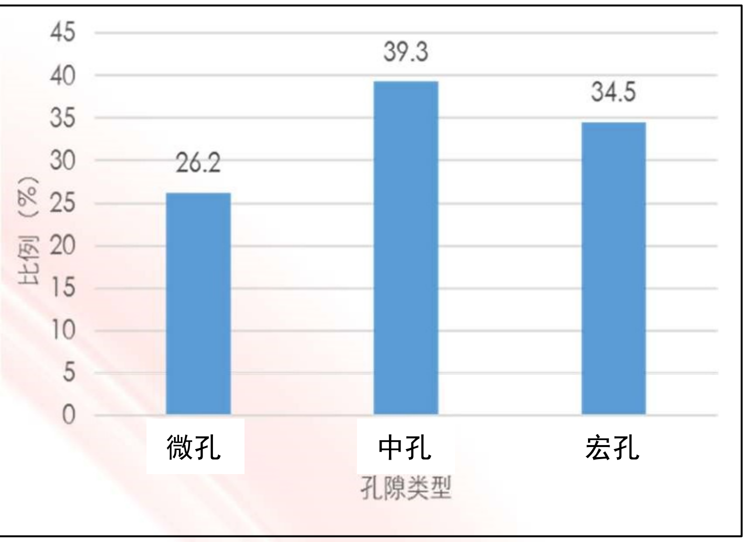


相关成果发表在JCR 二区以上《Energy & Fuel》

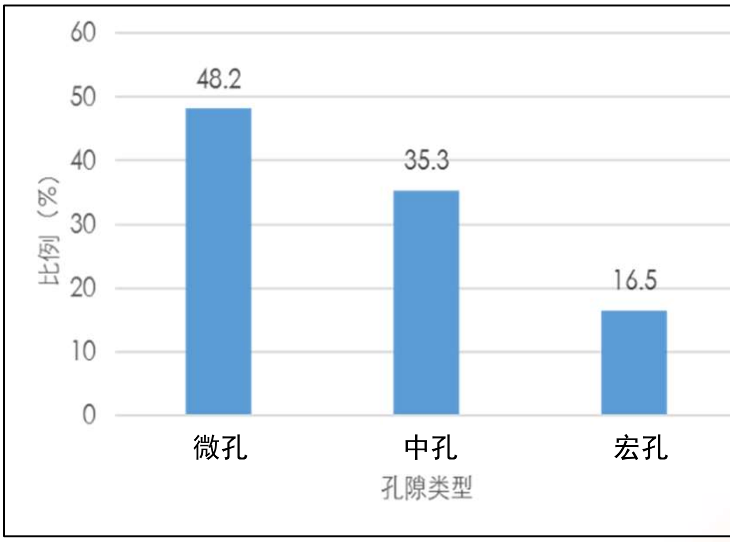
《Marine and Petroleum Geology》等期刊

1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

■ 龙马溪组以宏孔和中孔体积为主，牛蹄塘组以微孔和中孔体积为主，龙马溪组页岩更有利于游离气储集



渝东南地区龙马溪组页岩不同孔径孔体积比例



渝东北地区牛蹄塘组页岩不同孔径孔体积比例

◆ 龙马溪组页岩：

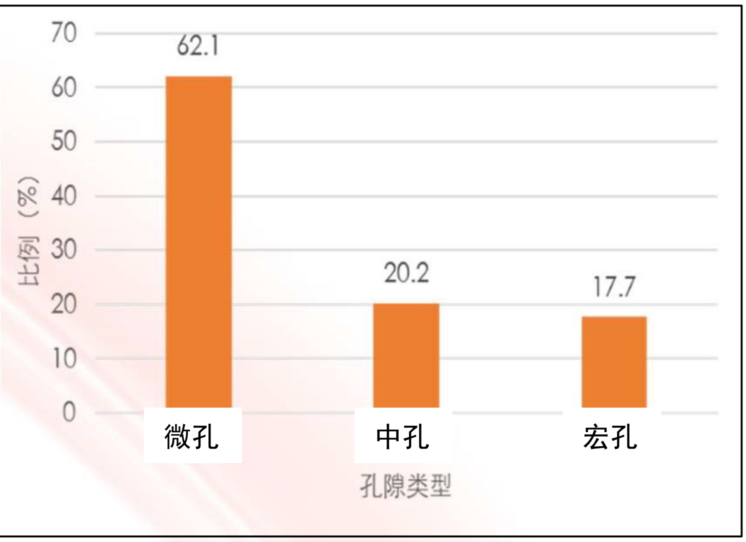
微孔占26.2%，中孔占39.3%，宏孔占34.5%，

平均孔体积：0.016ml/g，平均孔隙度：4.1%

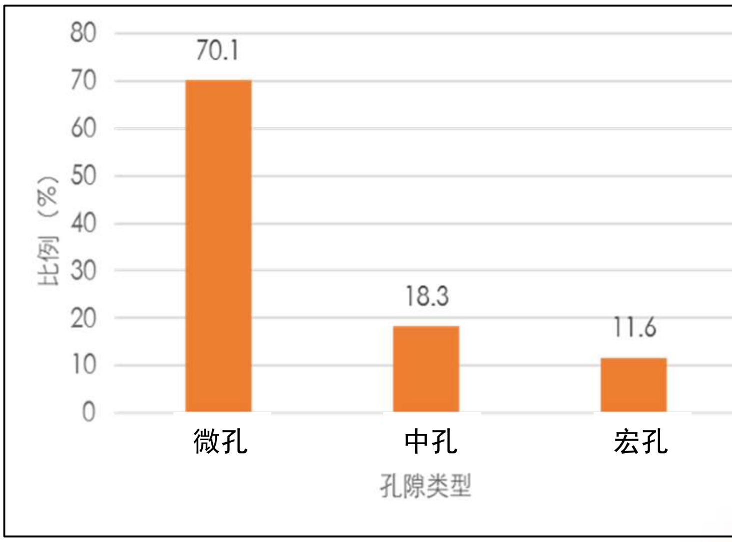
平均孔体积：0.007ml/g，平均孔隙度：1.9%

1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

■ 龙马溪组以微孔和中孔比表面积为主，牛蹄塘组以微孔比表面积为主，有利于储集吸附气



渝东南地区龙马溪组页岩不同孔径孔面积比例



渝东北地区牛蹄塘组页岩不同孔径孔面积比例

➤龙马溪组页岩：

微孔占62.1%,中孔占20.2%,宏孔占17.7%

平均比表面积：**10.7m²/g**

➤ 牛蹄塘组页岩：

微孔占70.1%，中孔占18.3%，宏孔占11.6%

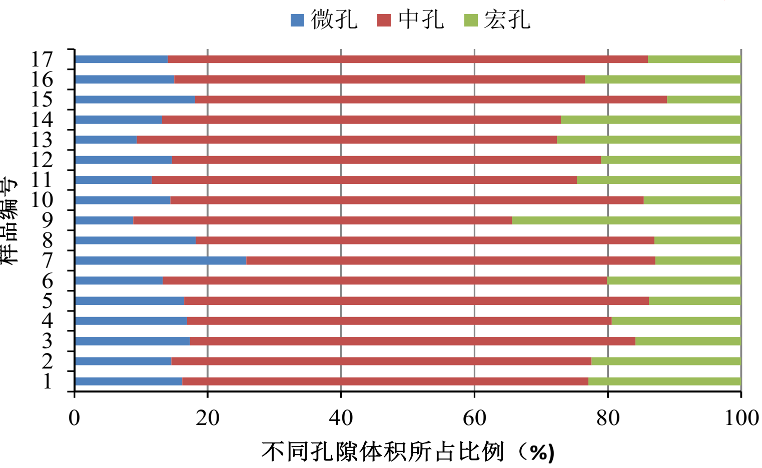
平均比表面积：**33.7m²/g**

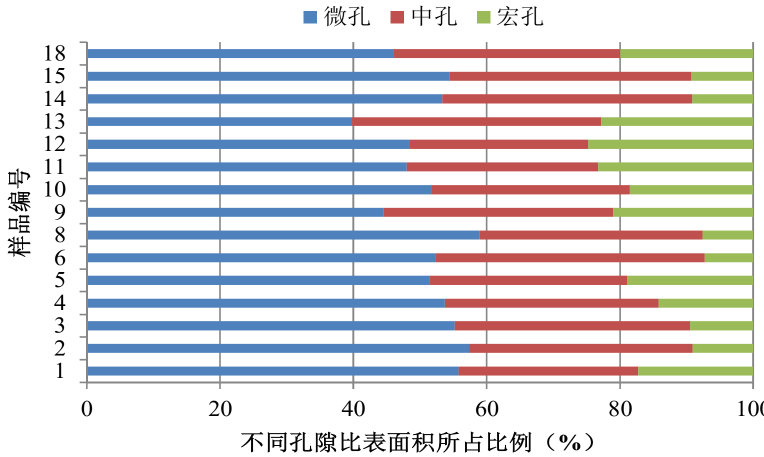
代表性成果

1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

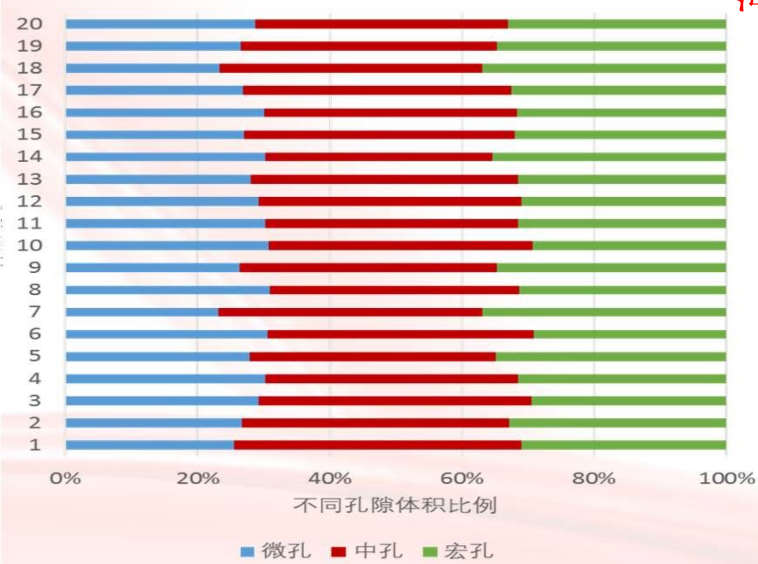
■ 与龙马溪组比较，陆相页岩中孔比例更高，微孔和宏孔均较少

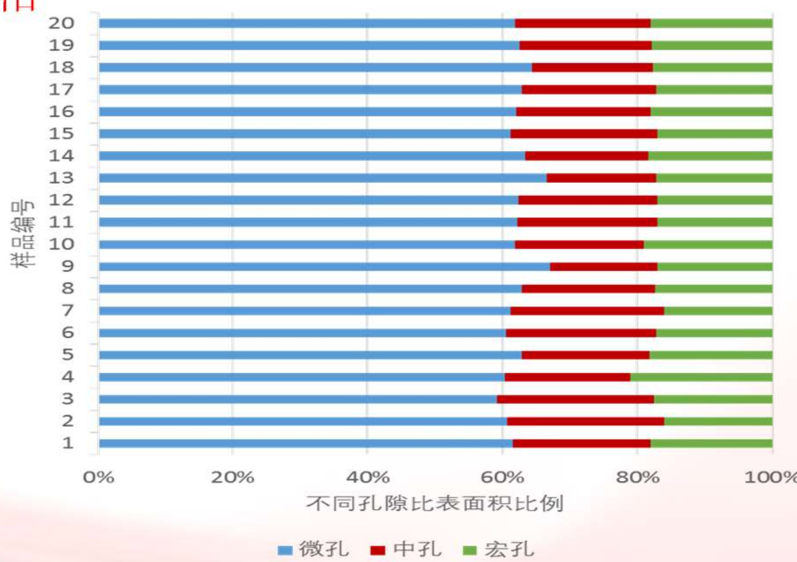
陆相





海相





相关成果发表在JCR 二区以上
《Journal of Petroleum Science and Engineering》
《Journal of Natural Gas Science and Engineering》
《Marine and Petroleum Geology》等期刊

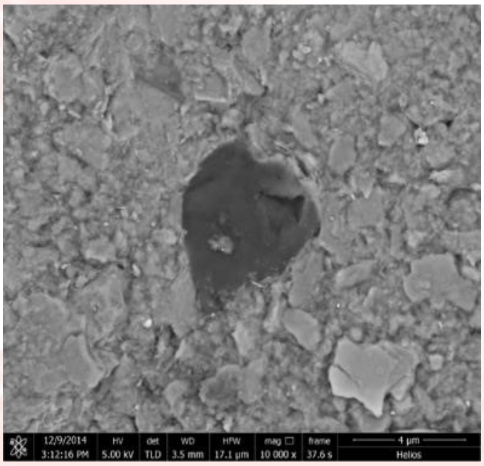
1、全孔径孔隙结构定量表征揭示页岩孔隙发育特征

- 龙马溪组和牛蹄塘组页岩孔隙结构特征的差异大，表明过成熟阶段页岩中有机质孔和无机孔都减少，揭示过高的成熟度对页岩孔隙保存不利

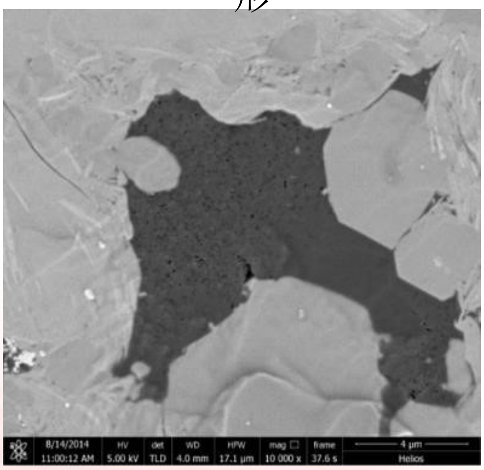
有机质孔隙增加 | 有机质孔隙变形，孔径减小 | 有机质孔隙减少或消失

成熟 → 过成熟

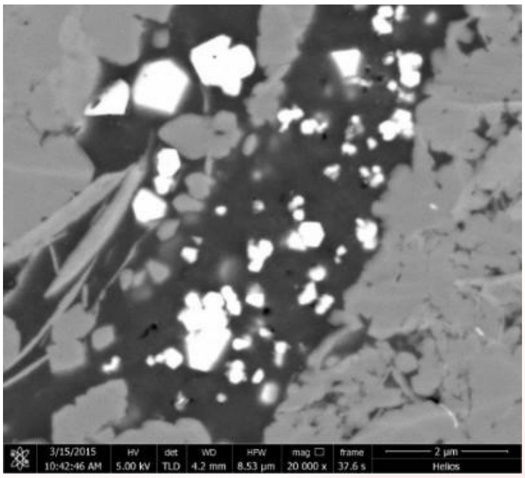
有机质抗压性降低 | 挤压作用下有机质极易变形 | 有机质抗压性增强



有机质孔不发育，JN-5号



有机质孔发育，JY1-3(37-40)

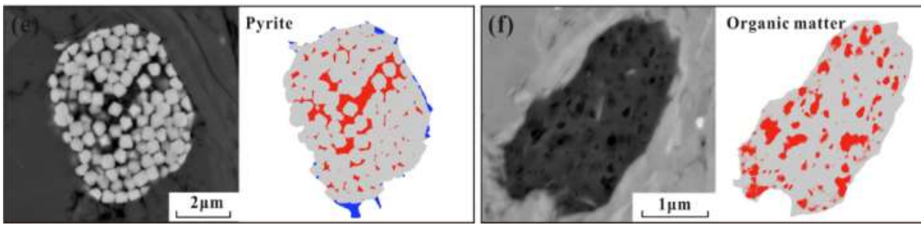


有机质孔不发育，CQ1,721.3m

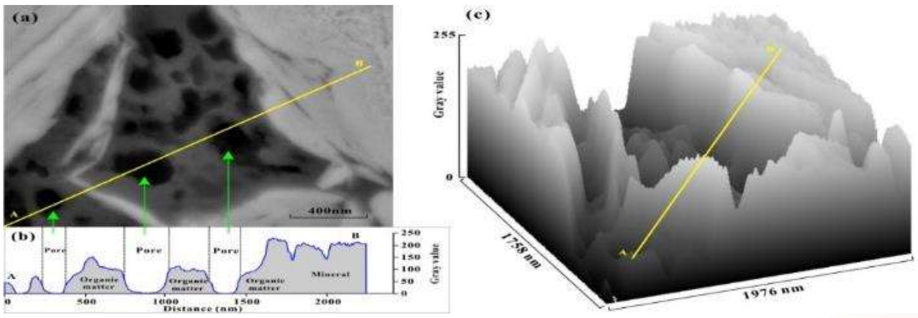
2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

- 通过创新图像识别技术，实现有机质孔和无机质孔的定量表征，深化了有机质孔在页岩孔隙中的相对贡献的认识

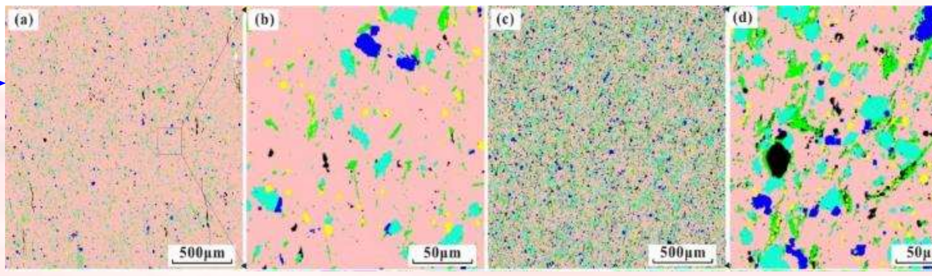
基于聚焦离子束电镜（FIB-SEM）获得页岩组分的图像



基于ImageJ软件获得页岩组分的孔隙分布及面孔率



基于微区矿物定量分析法获得页岩组分含量

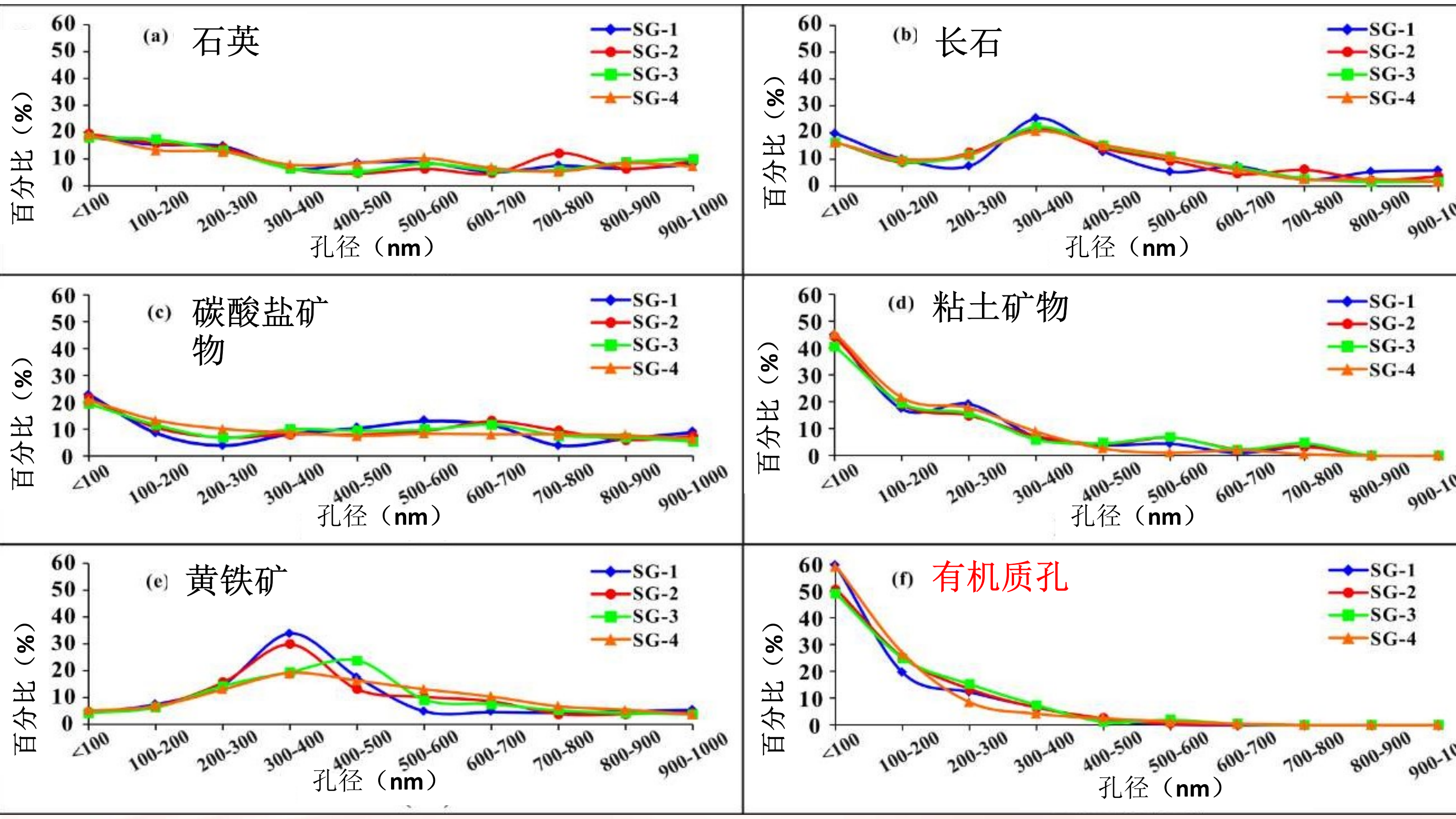


综合得到页岩组分的孔隙特征

相关成果发表在JCR 二区期刊《 Marine and Petroleum Geology 》

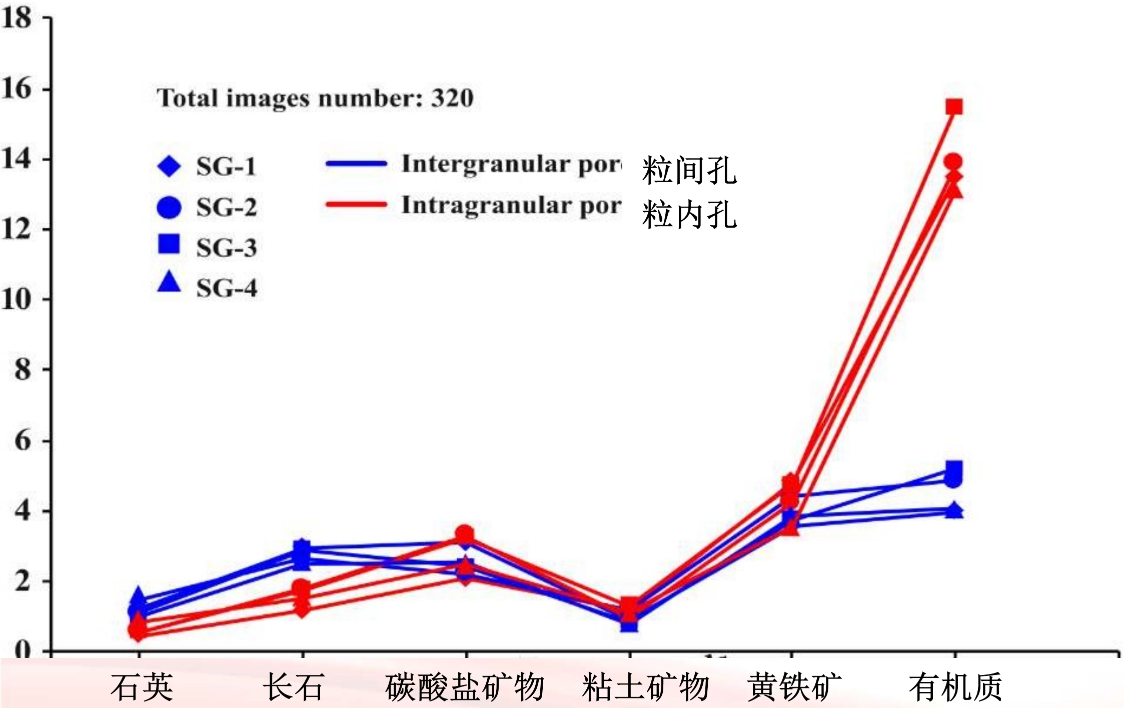
2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

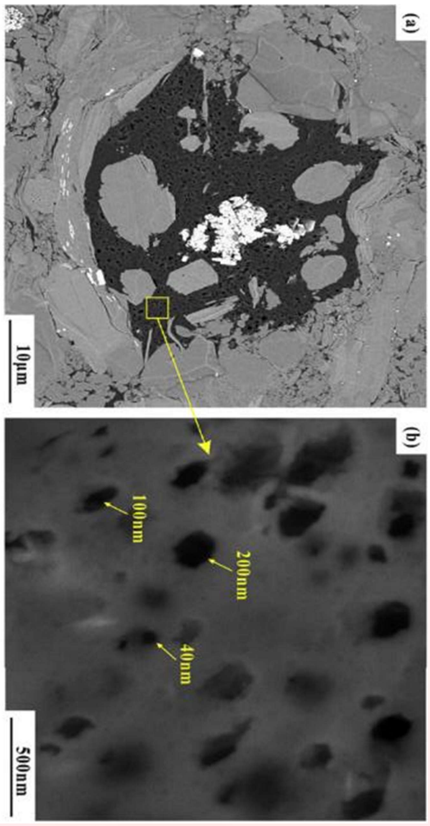
- 不同基质组分的孔隙特征差异显著，有机质和粘土矿物以小于200 nm孔隙为主



2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

- 不同基质组分的面孔率差异显著，龙马溪富有机质页岩中有机质面孔率可高达17%~21%，各类矿物面孔率均小于8%

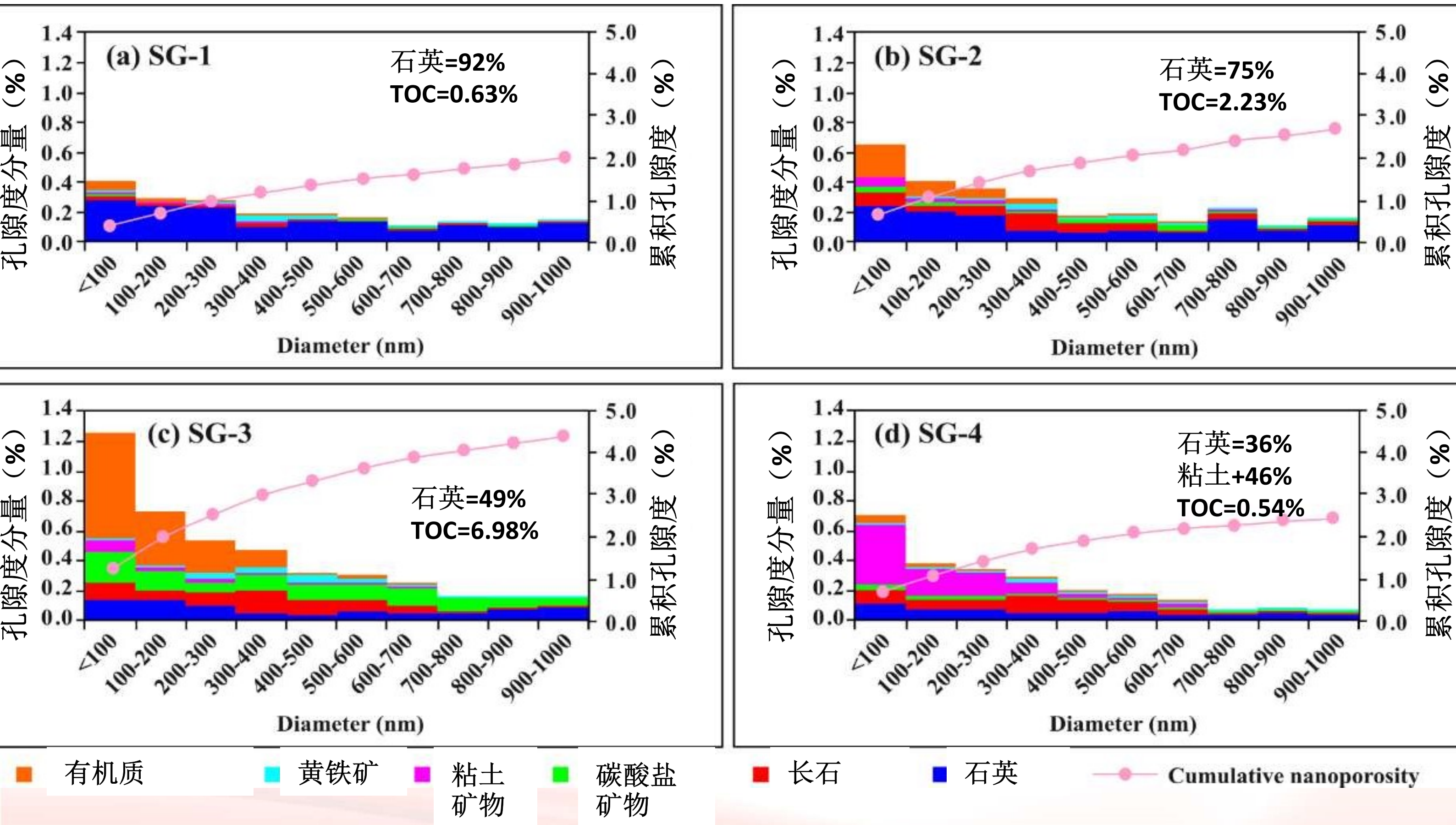




四川盆地五峰组—龙马溪组页岩组分的面孔率分布

2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

- 当TOC为6.98%时，有机质孔可贡献33%的总孔隙度

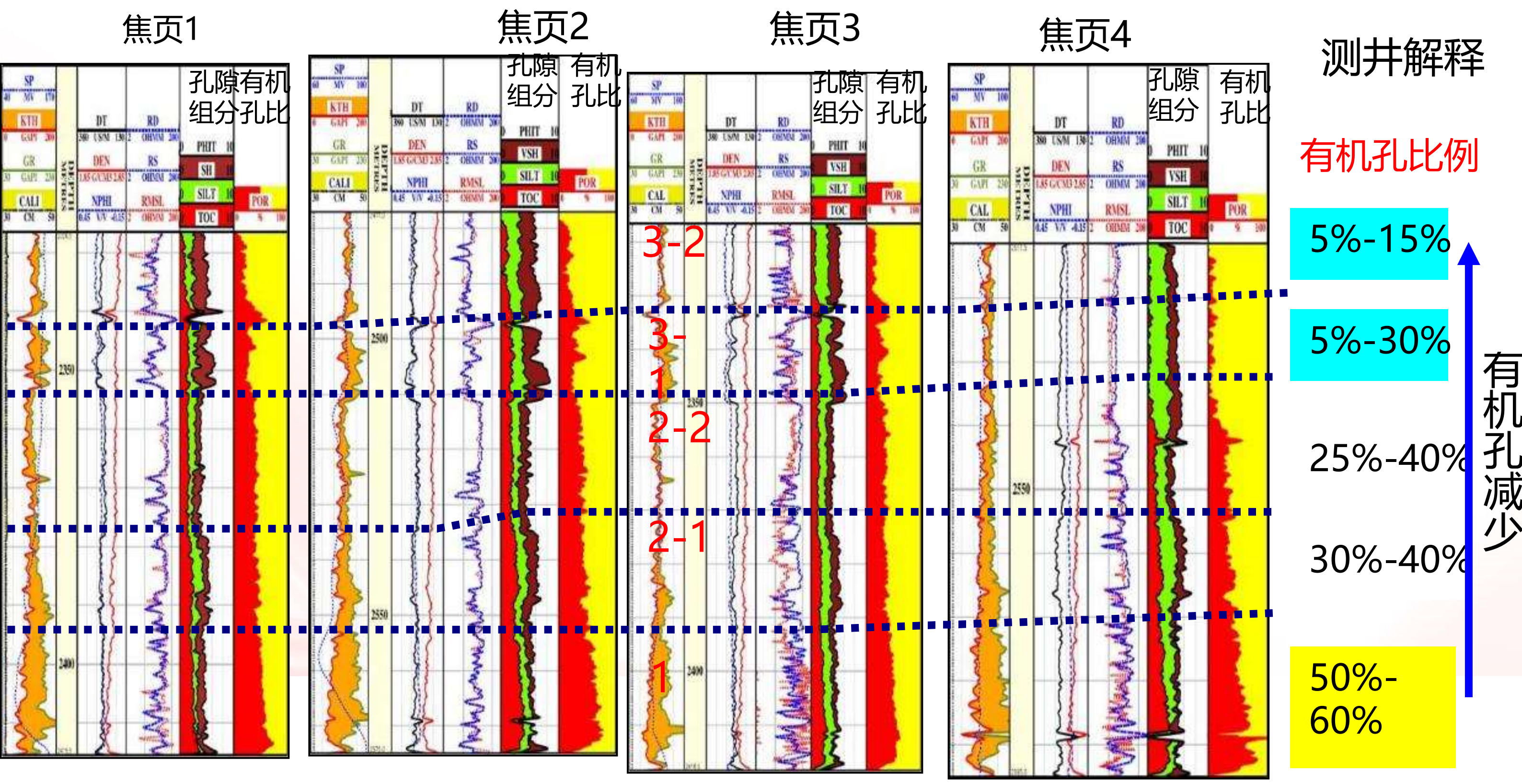


四川盆地龙马溪组页岩组构的孔隙度分布

相关成果发表在JCR 二区杂志《MPG》,是ESI 高被引论文（2017年1月发表）

2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

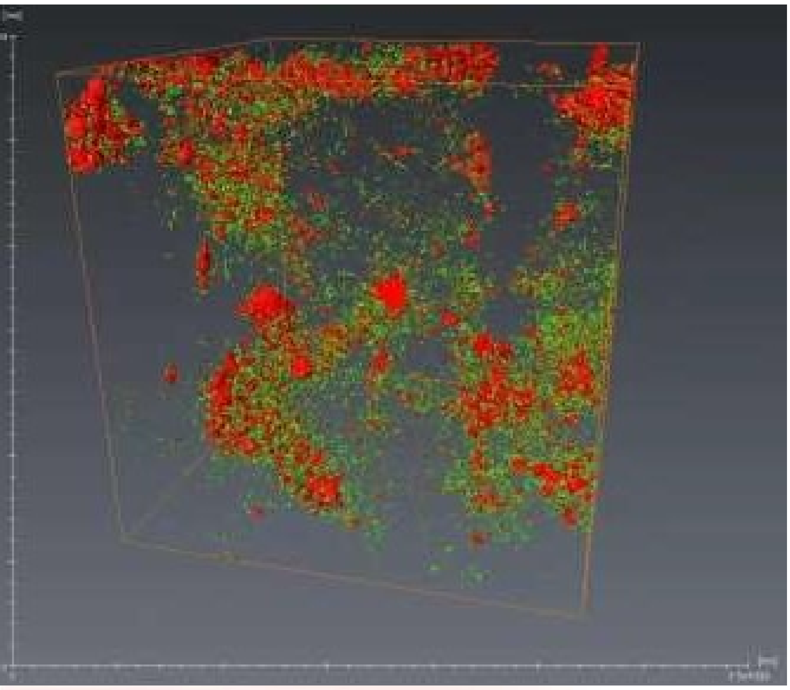
- 涪陵页岩气田龙马溪组页岩测井解释结果表明，有机质孔占比可达50%-60%，有机质孔是页岩气储集的主要孔隙空间



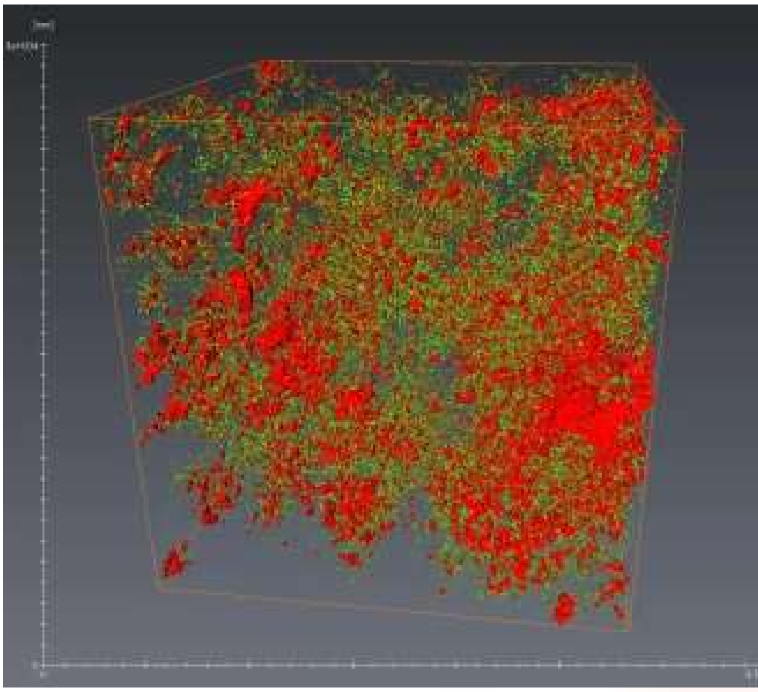
（中石化，2016）

2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

- 相同成熟度的页岩中，有机质含量高，有机质孔隙贡献大



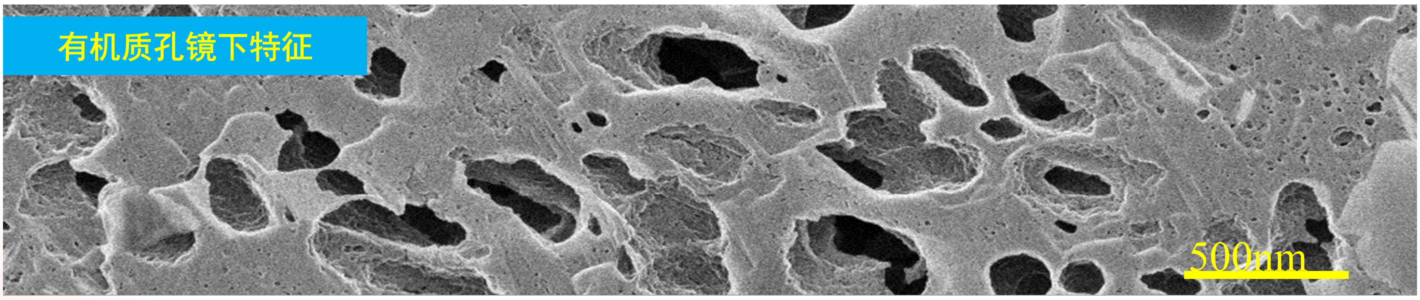
JY-1，2367.98 m，有机碳含量 1.72%

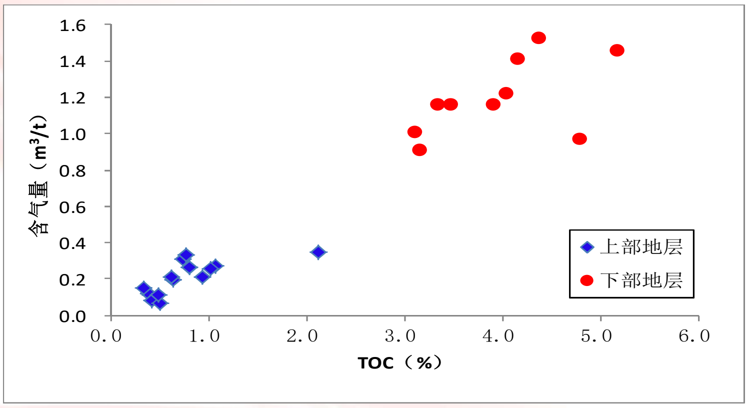


JY1，2415.9m,有机碳含量 4.50%

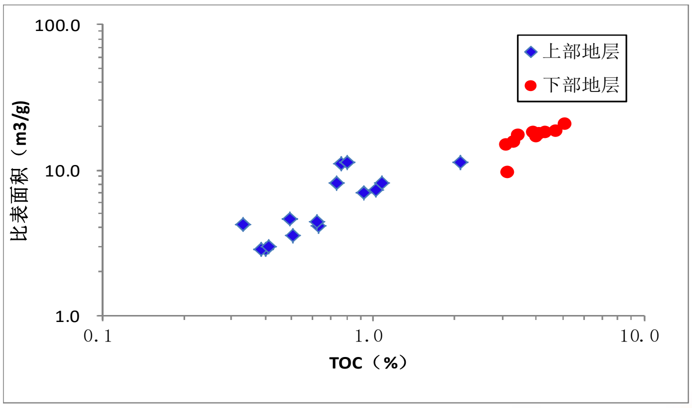
2、有机质孔是海相页岩储层重要的孔隙类型

- 有机质含量与页岩含气量、比表面积之间的正相关关系表明有机质孔与页岩气生成和储集关系密切，控制页岩含气性





五峰-龙马溪组页岩含气量与TOC关系



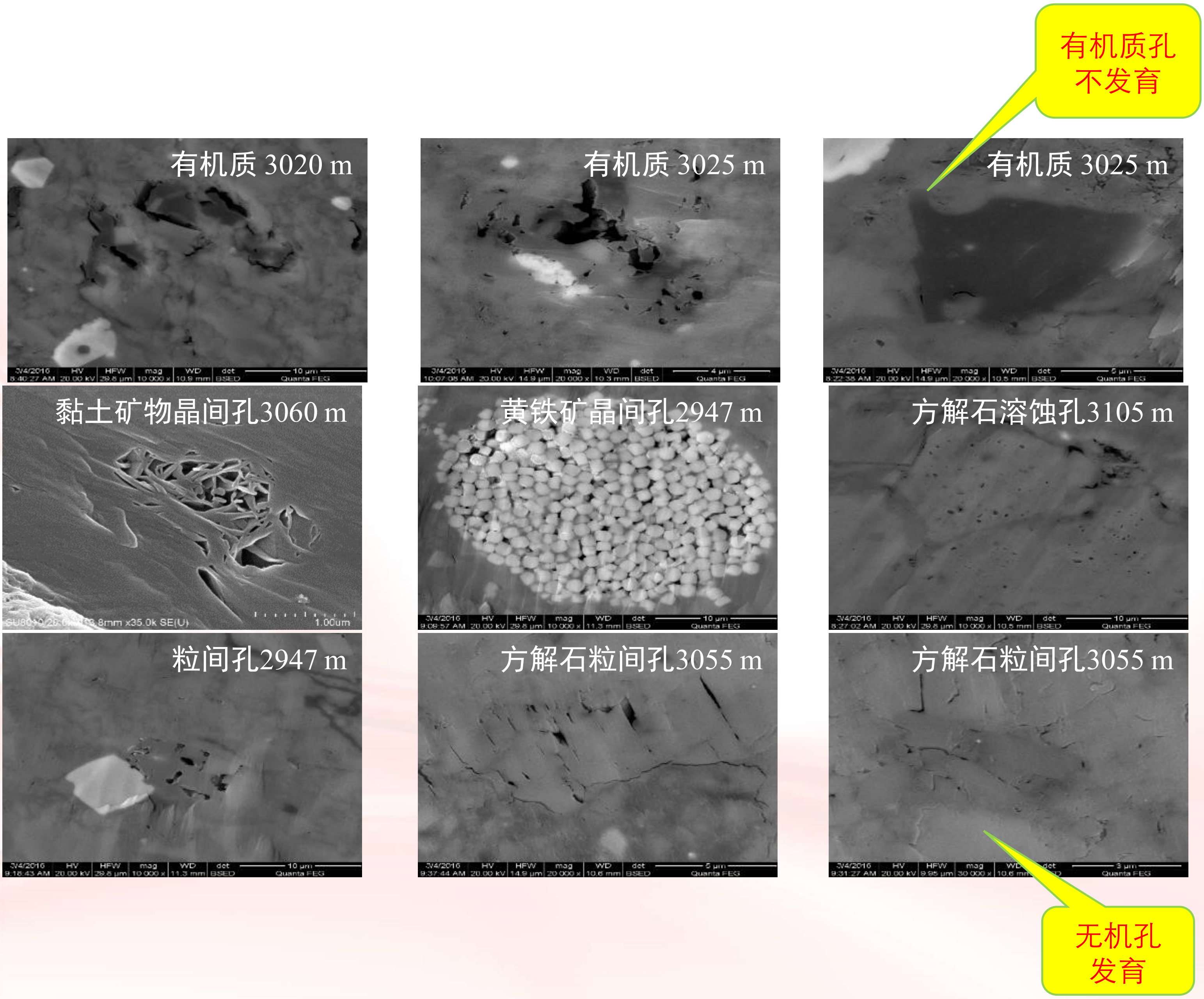
五峰-龙马溪组页岩比表面积与TOC关系

相关成果在JCR 二区杂志《International Journal of Coal Geology》等期刊发表论文3篇

3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

- 陆相页岩中主要发育各种矿物粒间孔和溶蚀孔，有机质孔相对欠发育

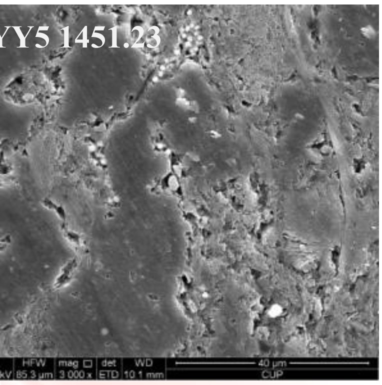
沾化凹陷沙三下亚段页岩中方解石和黏土矿物粒间孔发育，而有机质孔不发育



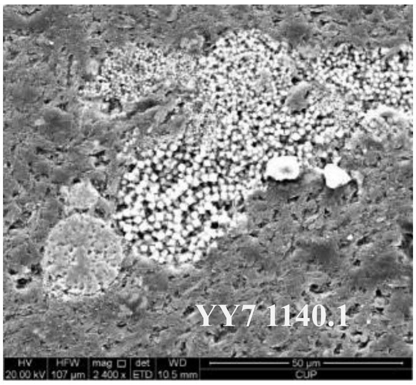
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

■ 陆相页岩中主要发育各种矿物粒间孔和溶蚀孔，有机质孔相对欠发育

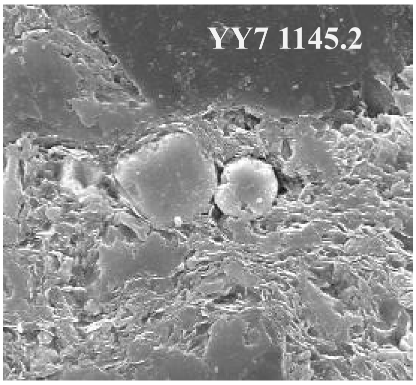
鄂尔多斯盆地长7段以长石和黏土矿物粒间孔较多，但有机质孔相对较少



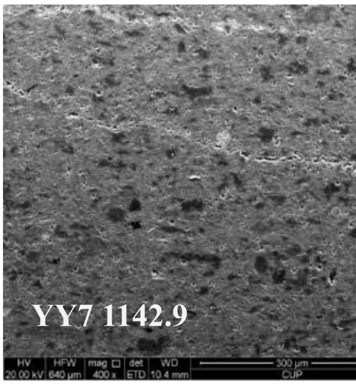
粒缘溶蚀孔



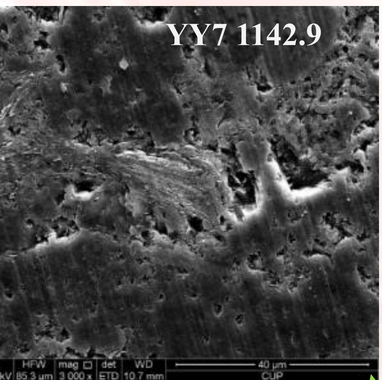
黄铁矿粒间孔



残留原生孔隙



有机质孔不发育

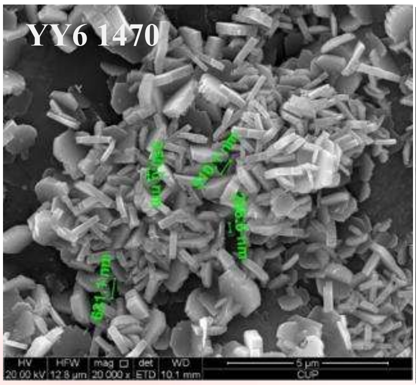


粒间溶蚀孔

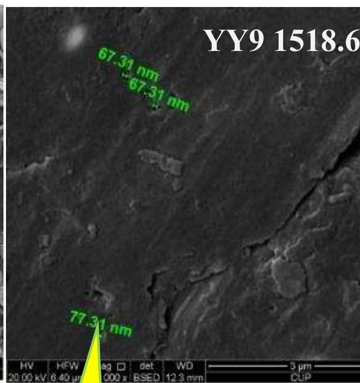
无机孔发育



粘土矿物间孔



重晶石晶间孔



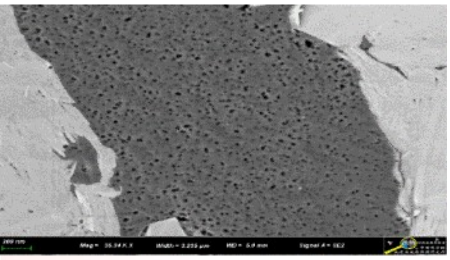
有机质孔不发育

有机质孔不发育

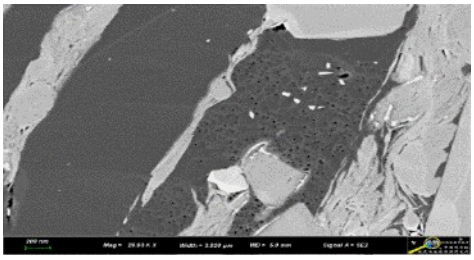
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

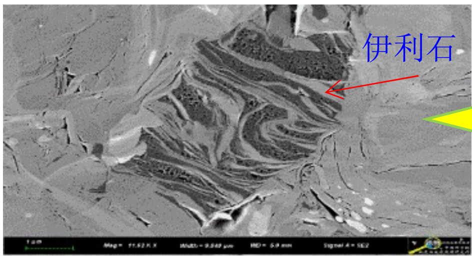
■ 陆相页岩中主要发育各种矿物粒间孔和溶蚀孔，有机质孔相对欠发育

松辽盆地沙河子组泥页岩以粒间孔为主，有机质孔欠发育



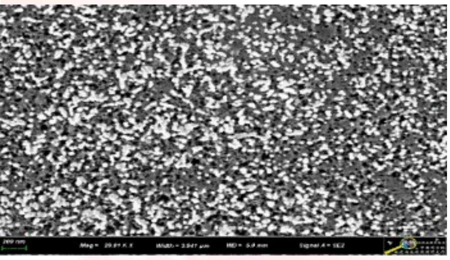
有机质孔隙



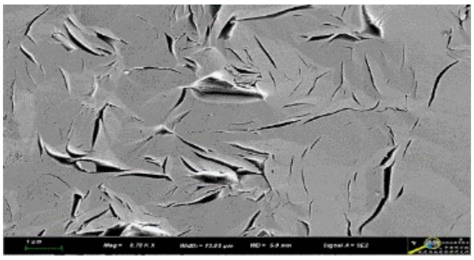


条带状有机质孔隙不发育，相邻粘土矿物与有机质共生，有机质孔隙

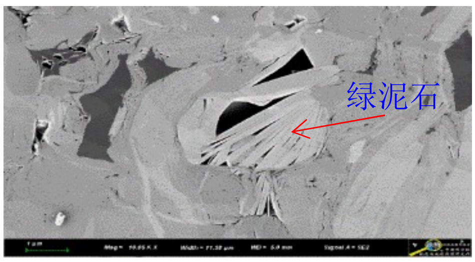
有机质孔
不发育



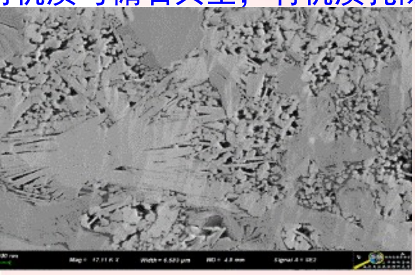
有机质与榍石共生，有机质孔隙发育



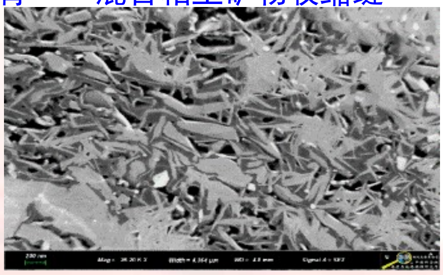
混合粘土矿物收缩缝



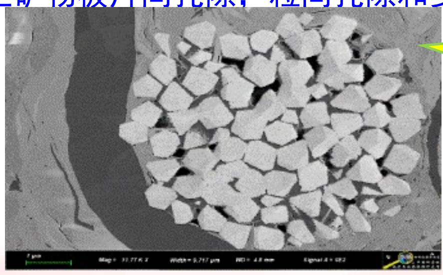
粘土矿物板片间孔隙，粒间孔隙和少



无机粘土矿物晶间孔隙



有机质与无机粘土矿物共生，
有机无机间孔隙发育



草莓状黄铁矿晶间有机质充填，
可见无机有机间孔隙，

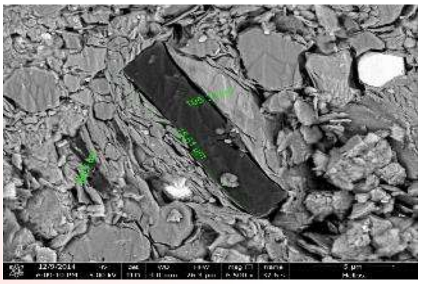
无机孔
发育

3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

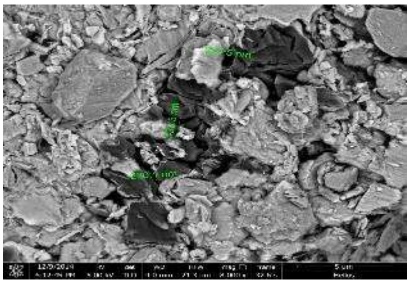
- 陆相页岩中主要发育各种矿物粒间孔和溶蚀孔，有机质孔相对欠发育

四川盆地自流井组泥页岩中孔隙以粒间孔和微裂缝为主

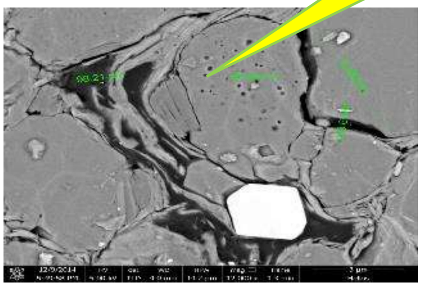
有机质孔不发育



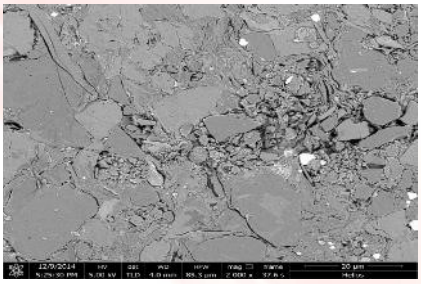
有机质和矿物晶体之间发育超大孔



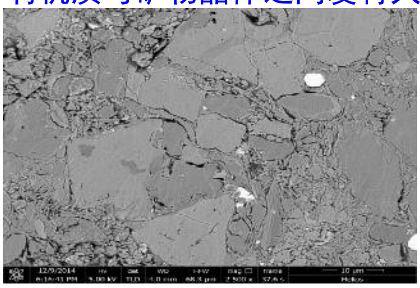
有机质与矿物晶体之间发育大孔



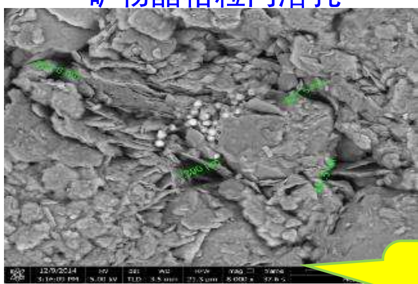
矿物晶格粒内溶孔



连通的微裂隙网络

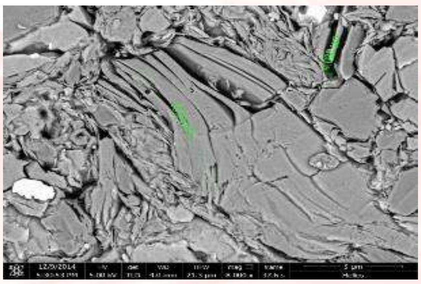


连通的微裂隙网络

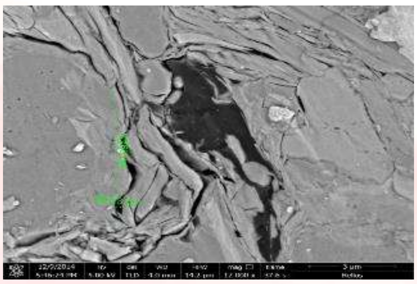


孔吼半径较大的粒间孔

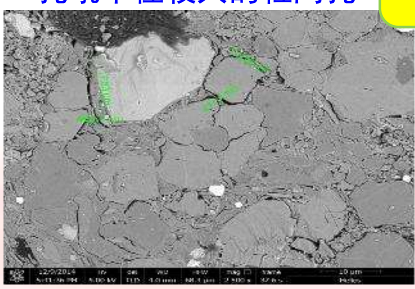
无机孔发育



微裂隙发育数量多



微裂隙开度，长度大

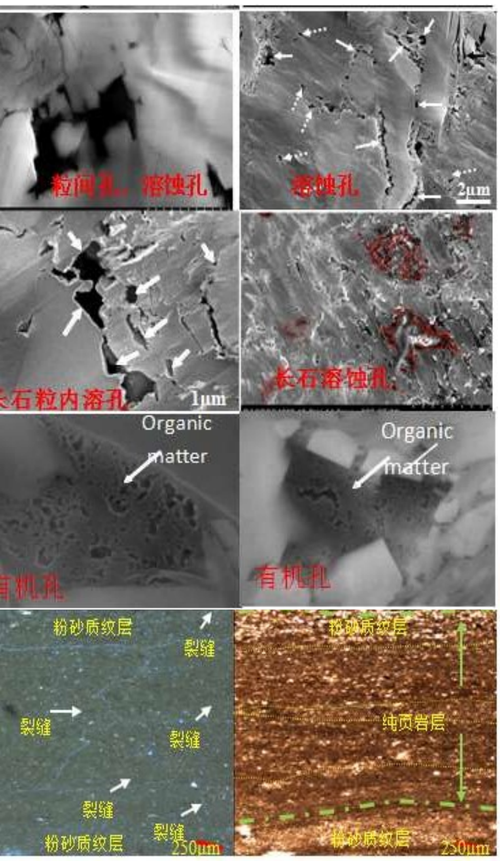


连通微裂隙

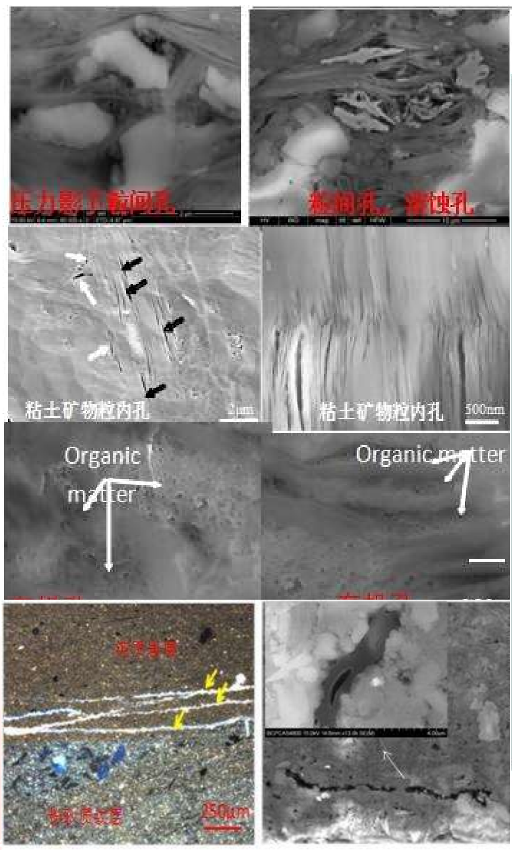
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

■ 陆相页岩中纹层控制无机孔隙的孔径分布，含纹层页岩的孔径较大

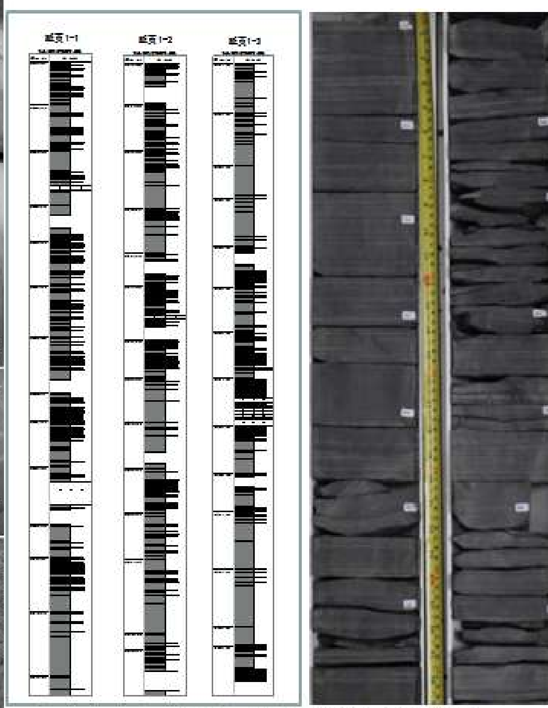
鄂尔多斯盆地延长粉砂质纹层页岩发育，其孔径大于相邻的不含纹层泥页岩。



页岩砂质纹层



纯页岩层

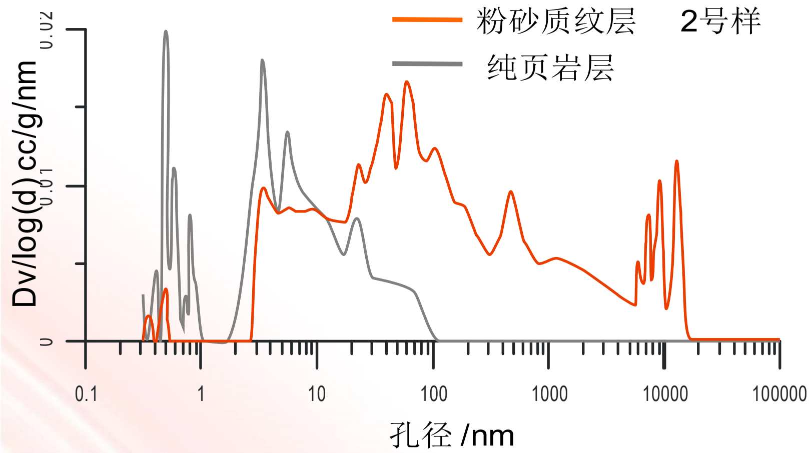


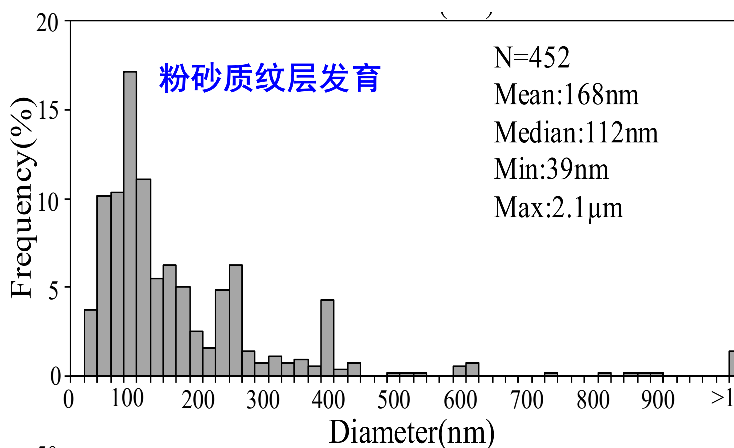
yy1井长7岩心测量剖面图
砂质纹层测量精度(0.05mm)

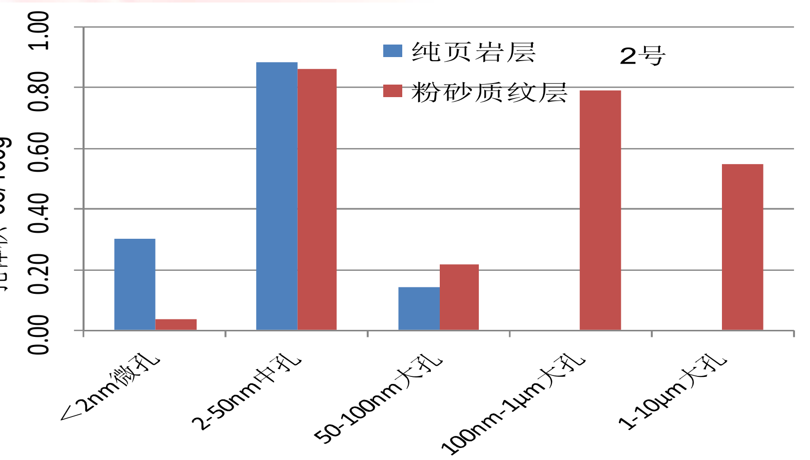
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

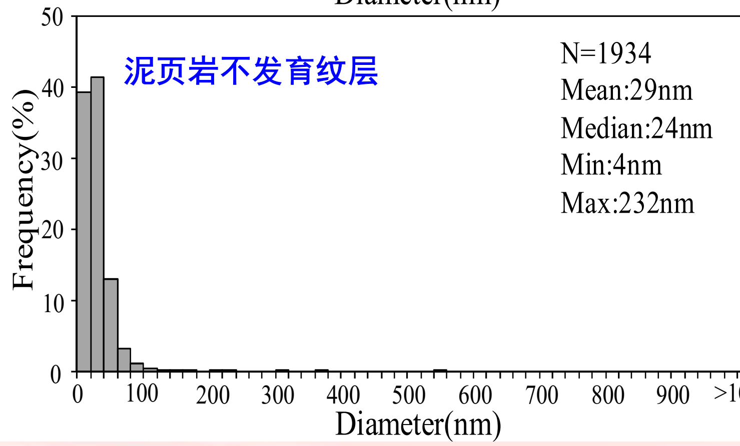
■ 陆相页岩中纹层控制无机孔隙的孔径分布，含纹层页岩的孔径较大

鄂尔多斯盆地延长粉砂质纹层页岩发育，其孔径大于相邻的不含纹层泥页岩







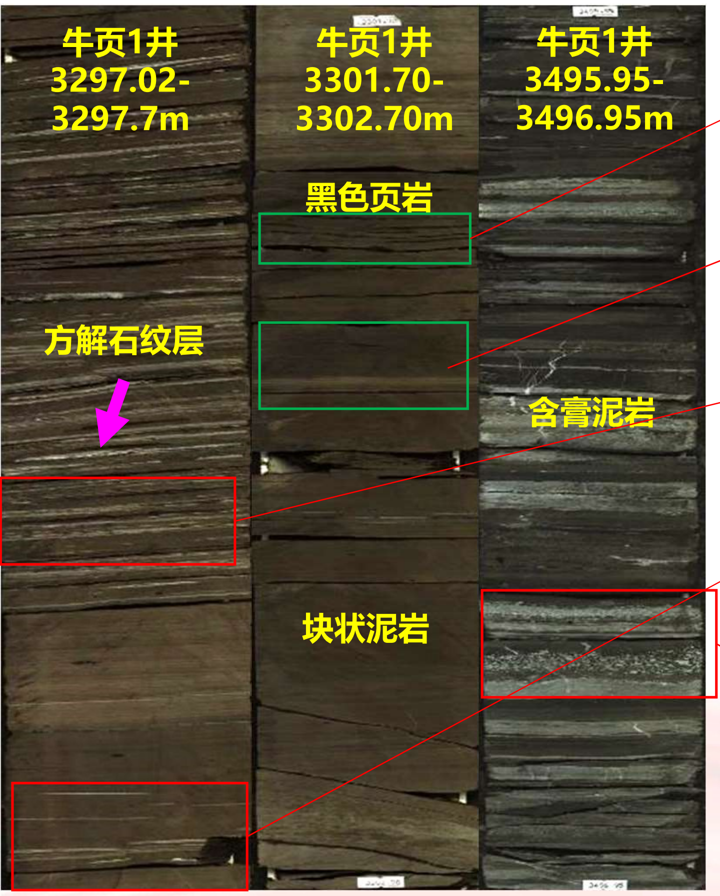


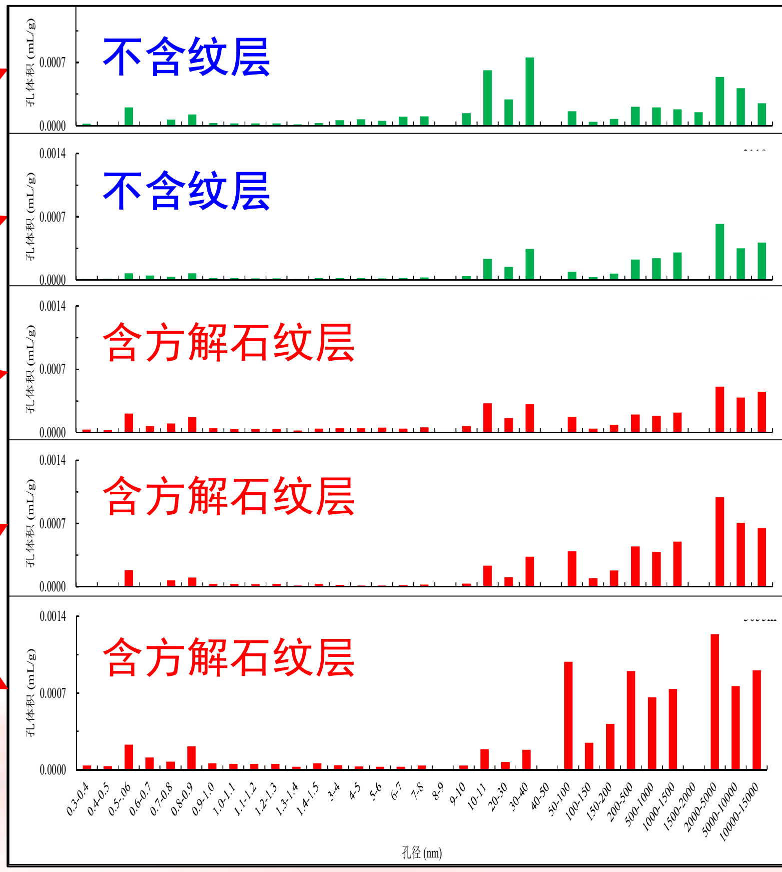
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

■ 陆相页岩中纹层控制无机孔隙的孔径分布，含纹层页岩的孔径较大

东营凹陷中方解石纹层发育，纹层页岩的孔隙明显大于页岩

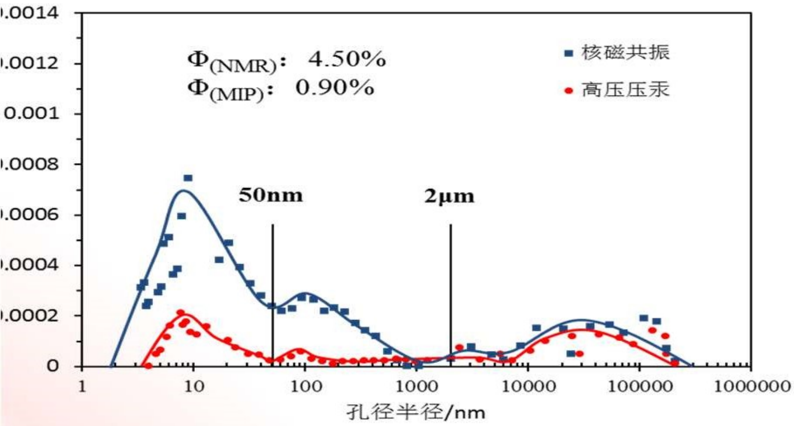
页岩的峰值孔径逐渐向右偏移

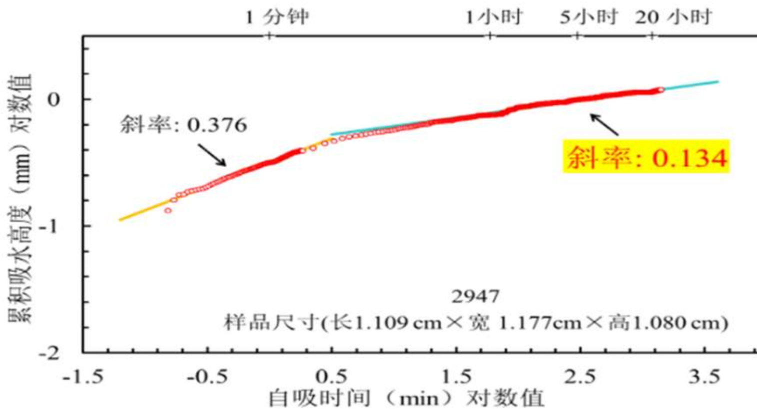




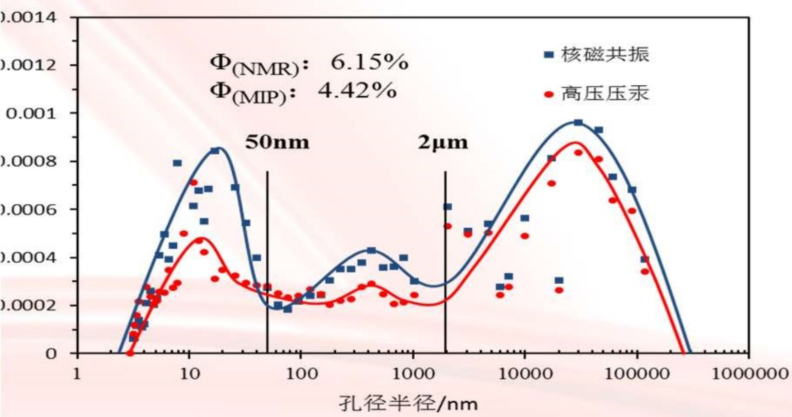
3、无机孔是陆相页岩储层中重要的孔隙类型

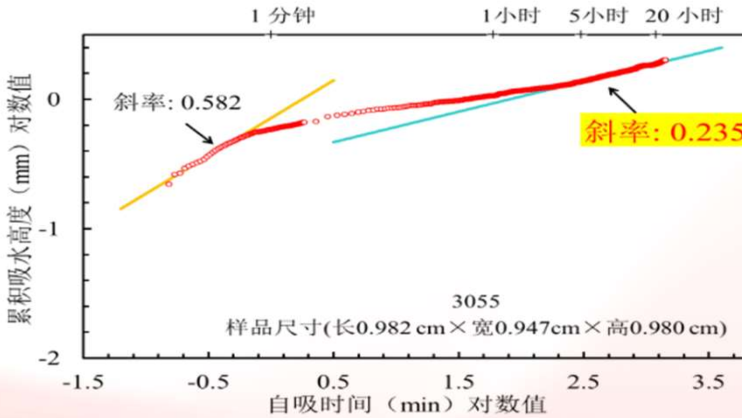
■ 陆相页岩中纹层的孔径较大，纹层越发育，则孔隙连通性越好





块状（2947m）





纹层状（3055m）

相关成果在JCR 二区杂志《IJCG》《MPG》等期刊发表论文3篇

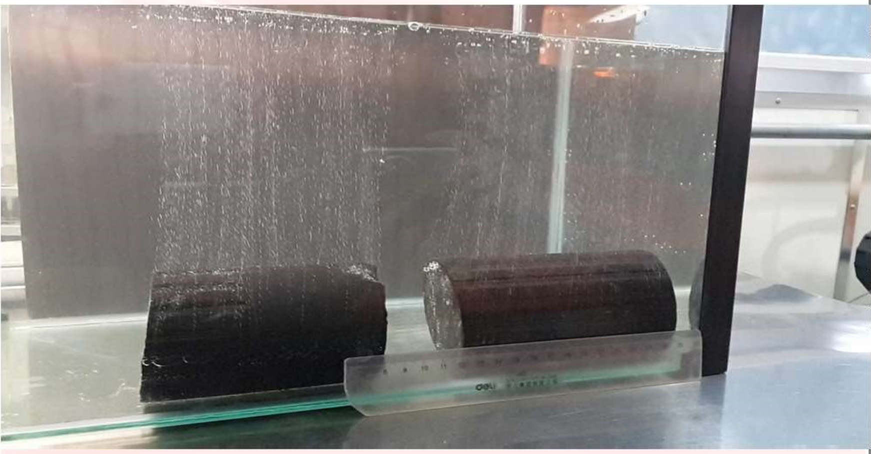
应用意义

对国土资源部深层页岩气调查评价具有指导作用

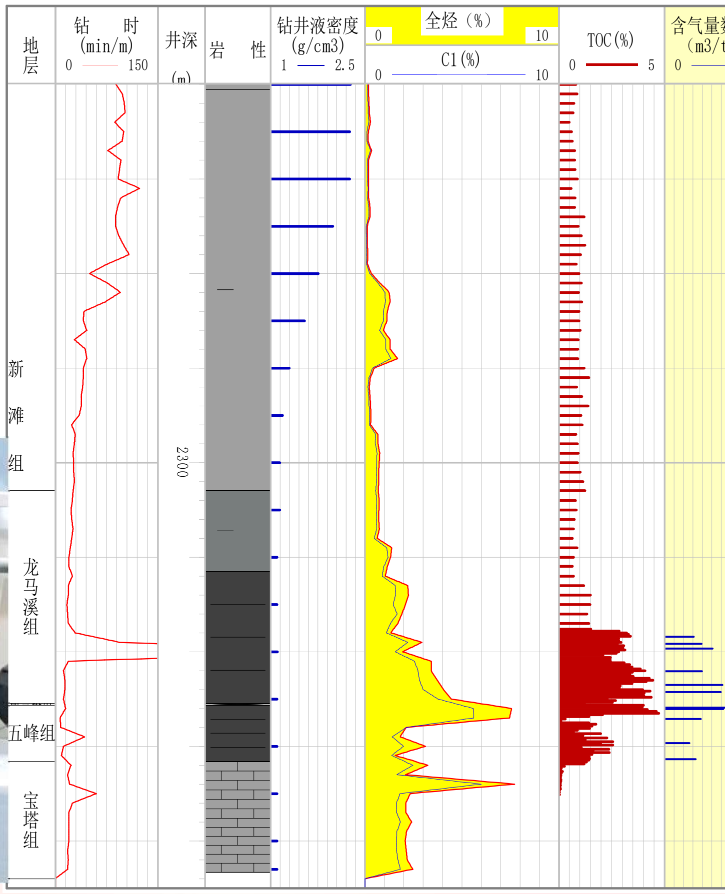
- 代表性成果深入认识海相页岩全孔径孔隙结构和有机质孔的重要性，指导安页1井储层储集空间及含气性研究，取得了显著成效。

◆ 安页1井龙马溪组获高含气量页岩气

- 钻遇高含气碳质页岩厚19.50米
- 全烃最高7.73%，C_1最高6.00%
- 岩心浸水气泡逸出剧烈，连续浓密，解析气可燃，火焰呈淡蓝色



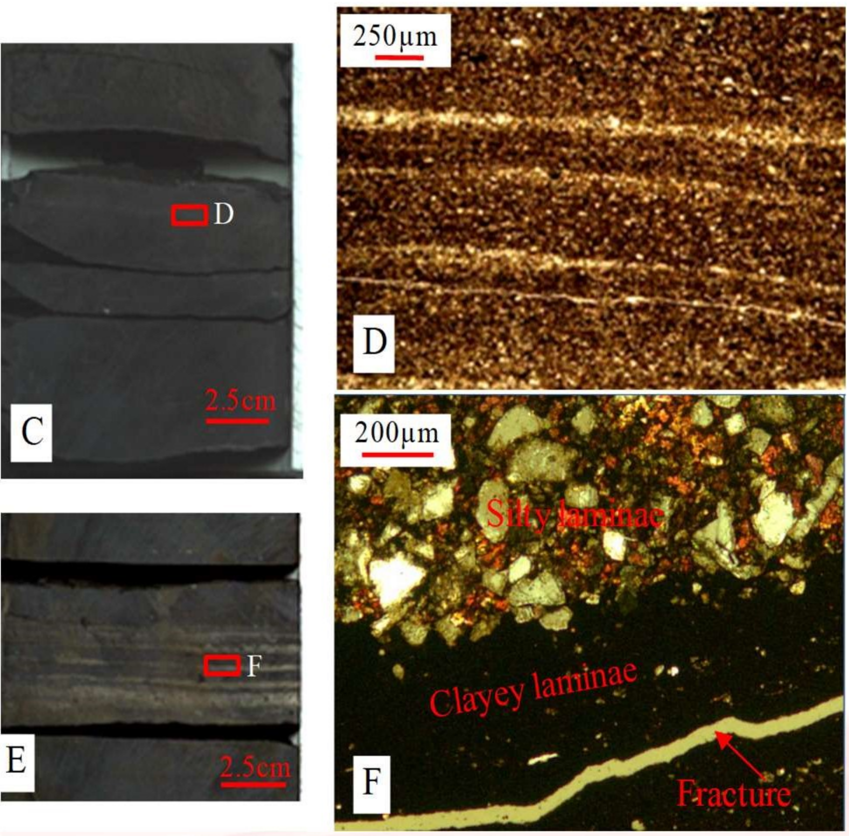
安页1井录井综合剖面图



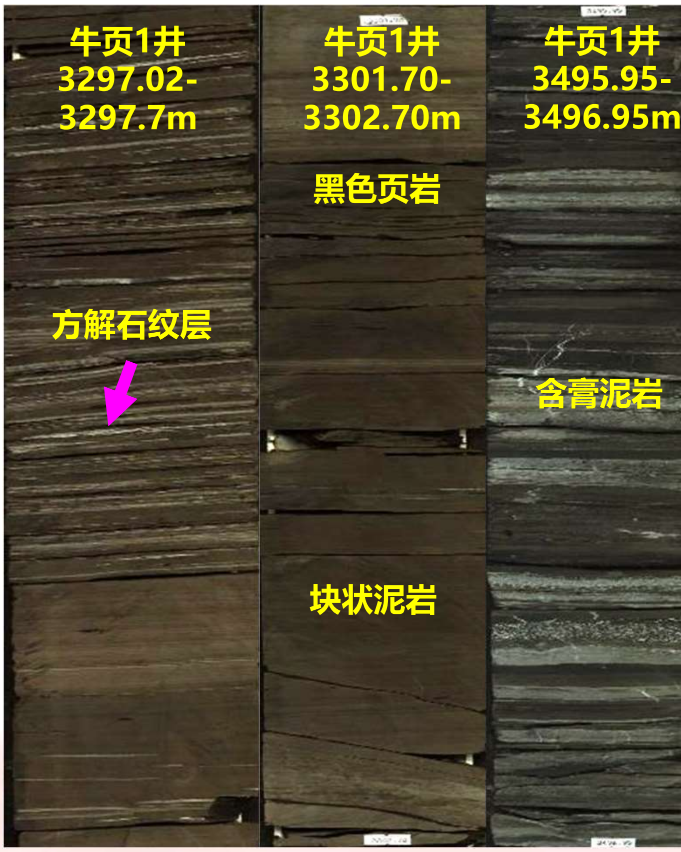
应用意义

对鄂尔多斯盆地和东营凹陷陆相页岩含油气性评价具有指导作用

- 代表性成果揭示基于陆相页岩中无机矿物孔是最主要的孔隙的认识，指导陆相页岩油气勘探应针对纹层段进行，取得了显著成效。



延长组长7段页岩中发育粉砂质纹层



沾化凹陷沙3下亚段发育灰岩纹层

代表性成果之二

构造背景及演化对页岩游离气富集的控制机理

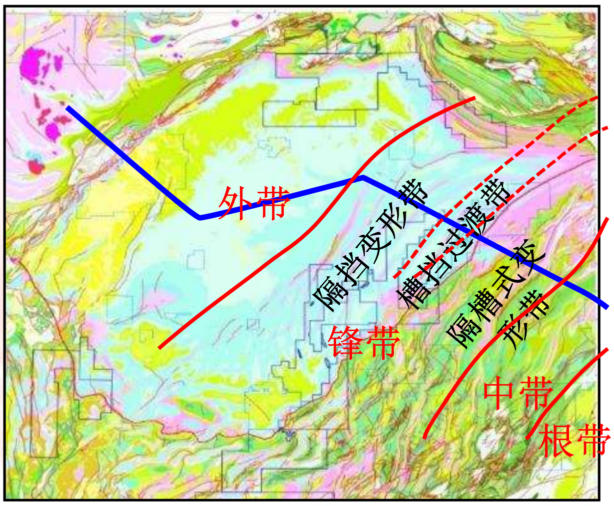
1. 构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

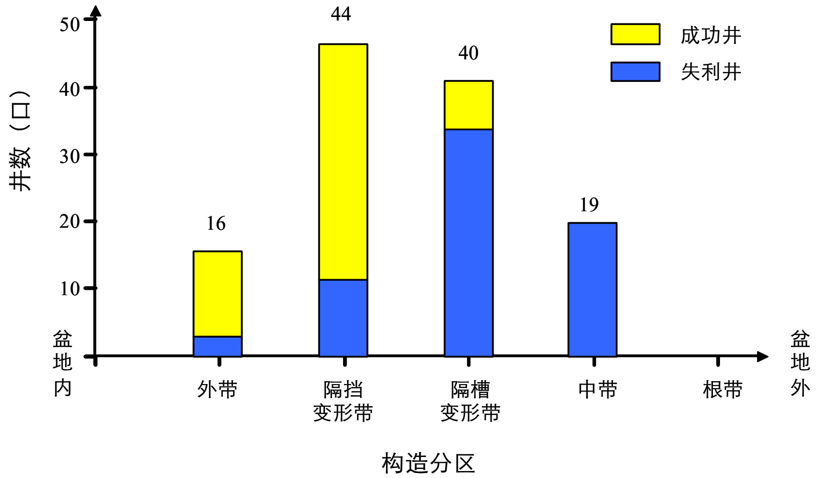
2. 构造活动强度控制页岩游离气的保存

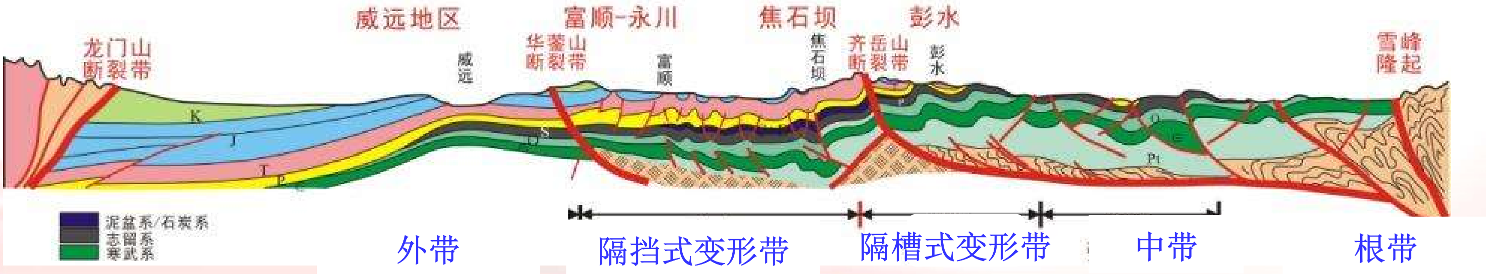
相关成果近两年来发表在《AAPG Bulletin》、《Fuel》、《IJCG》、《MPG》、《JPSE》、《JNGSE》上，共计12篇

问题提出

- 不同于北美，我国海相页岩气具有显著的**差异富集特征**，不同地区钻井成功率、产量差异大，总体表现是盆地内部高产井多，盆地外失利井多







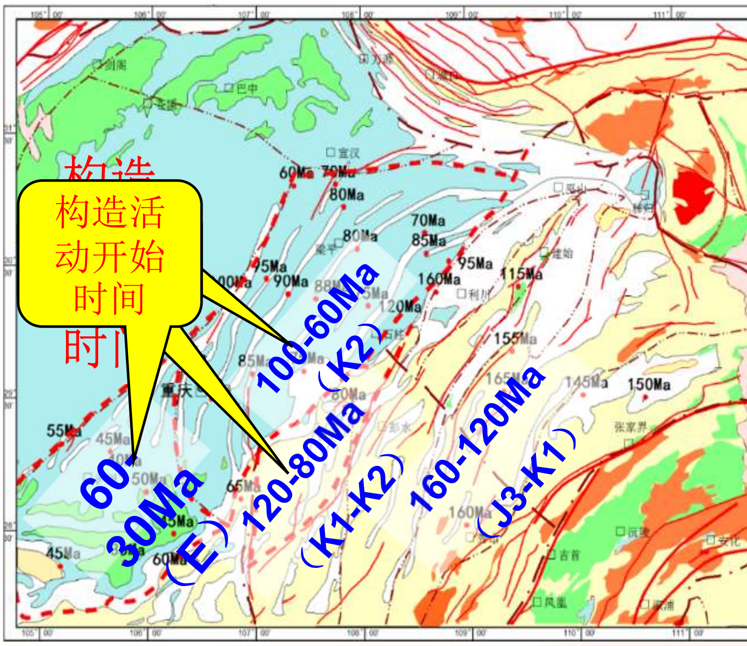
据中石化

问题提出

- 海相页岩气富集受到物质基础和后期改造的共同控制
- 在相同沉积背景下，构造背景及演化控制页岩气富集的机理研究不够深入



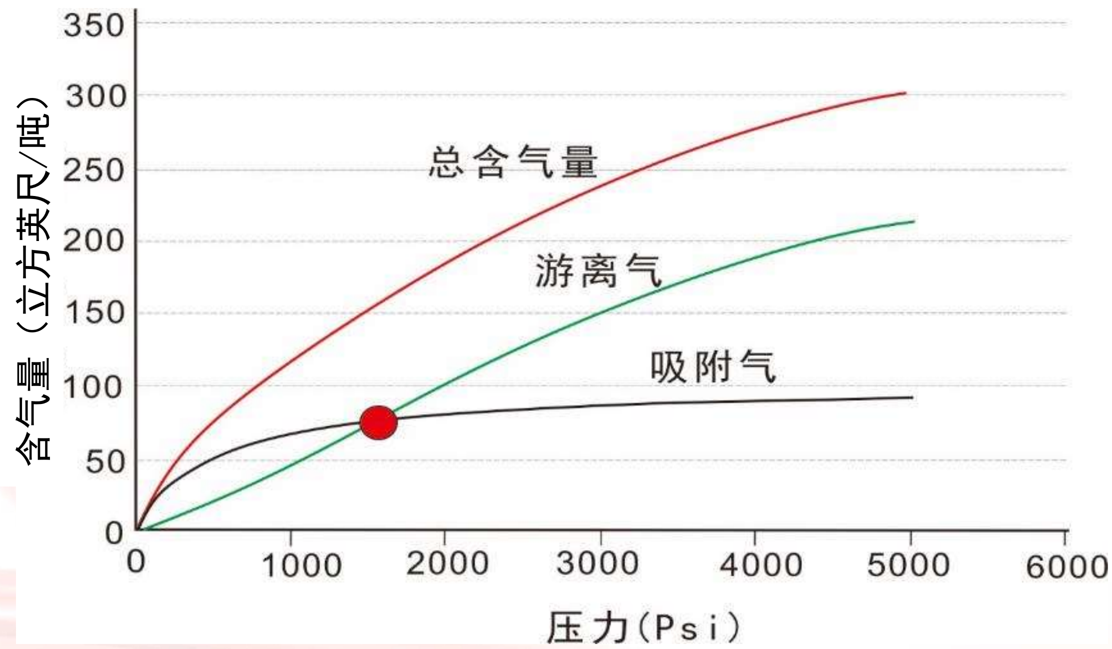
上扬子地区龙马溪页岩岩相古地理图（据王玉满）



川东南—湘鄂西构造活动期次图（据李双建）

问题提出

- 理论上，页岩气主要存在游离气和吸附气两种赋存状态，在气源充足的情况下，随压力增加吸附气达到最大吸附量，总含气量的增加主要为游离气量的增长，游离气保存决定最终含气量和高产量

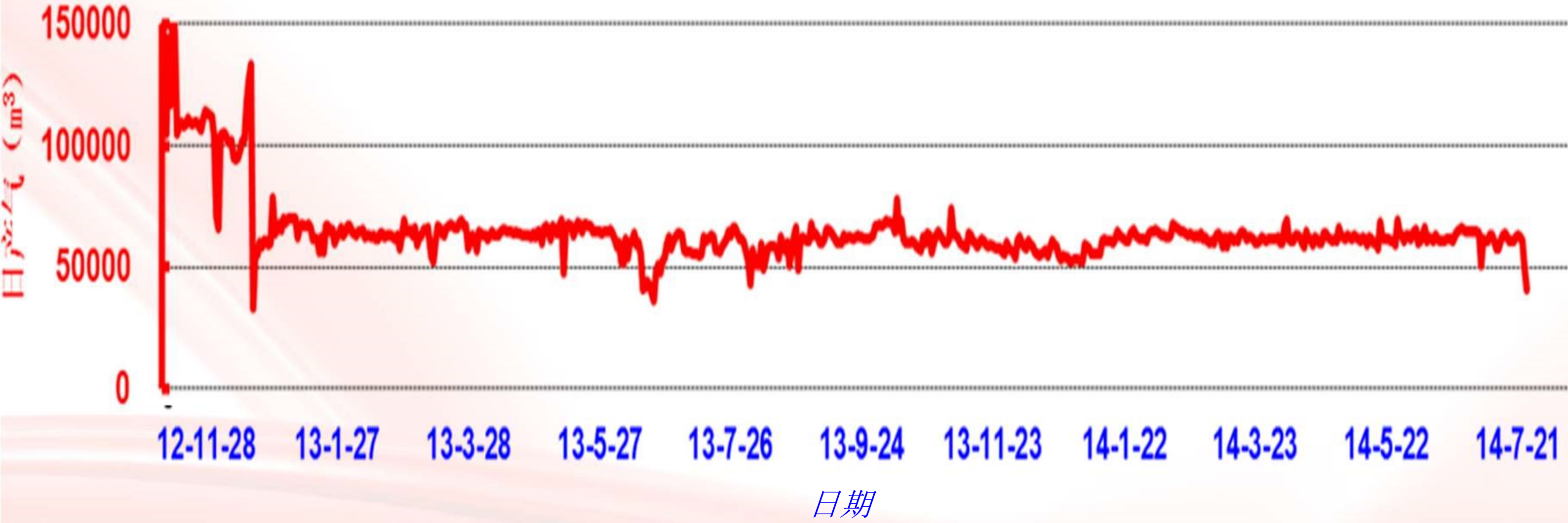


吸附气、游离气随压力的变化模式图（据 Lewis et al, 2004）

问题提出

- 单井生产曲线特征表明，初始高产主要为游离气产出，后期稳产为吸附气解吸，可见游离气更容易被破坏而不利于保存。因此，研究构造背景及演化对页岩游离气富集的控制机理，对我国复杂构造演化地区页岩气勘探开发具有重要意义

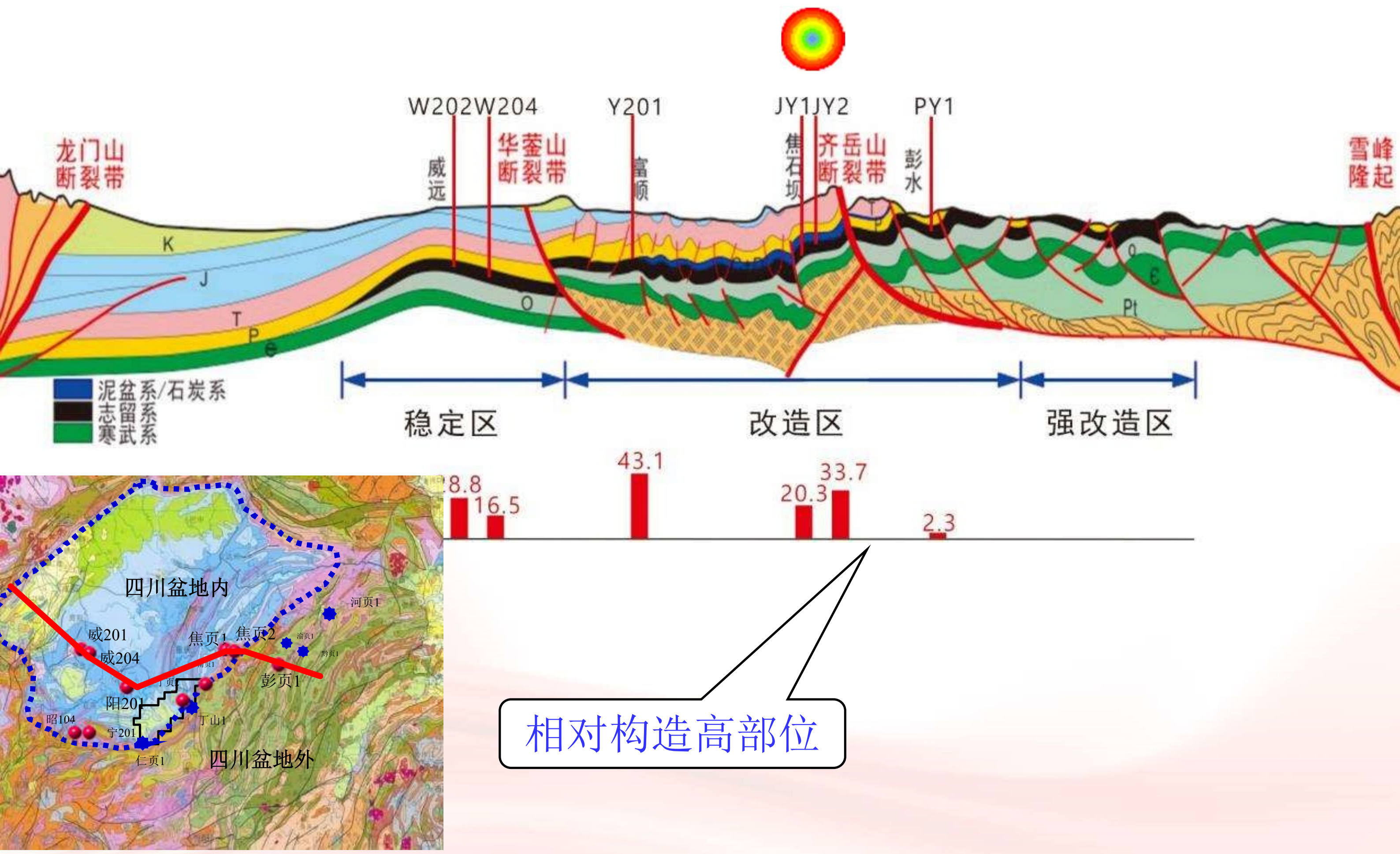
焦页1HF井产量递减曲线



据中石化

1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

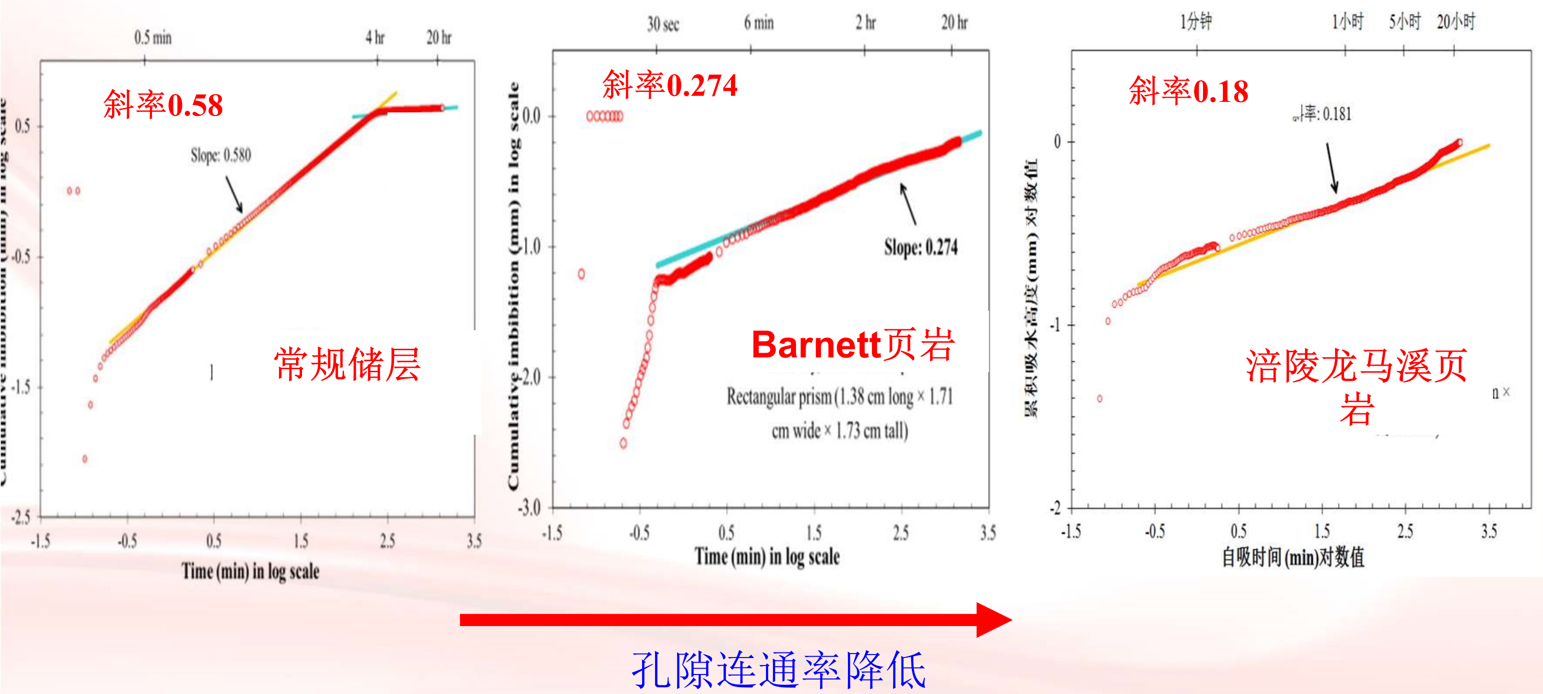
■ 以齐岳山构造为界，构造稳定区主要分布在四川盆地内，构造改造区主要分布在盆地外，构造稳定区高产井主要分布在相对构造高部位



1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

（1）页岩的页理面提高渗透率，为游离气流动提供优势通道

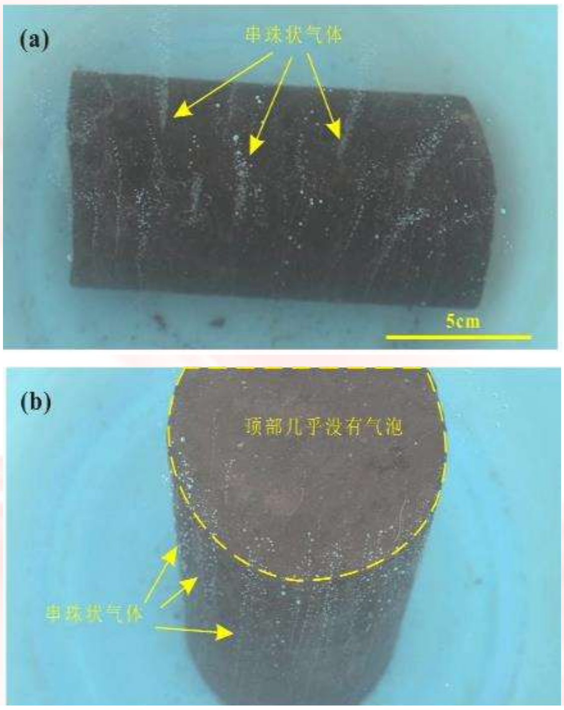
- 通过自发渗吸实验研究，表明与常规储层和Barnett页岩自吸斜率相比龙马溪页岩自吸斜率低，指示孔隙连通率低



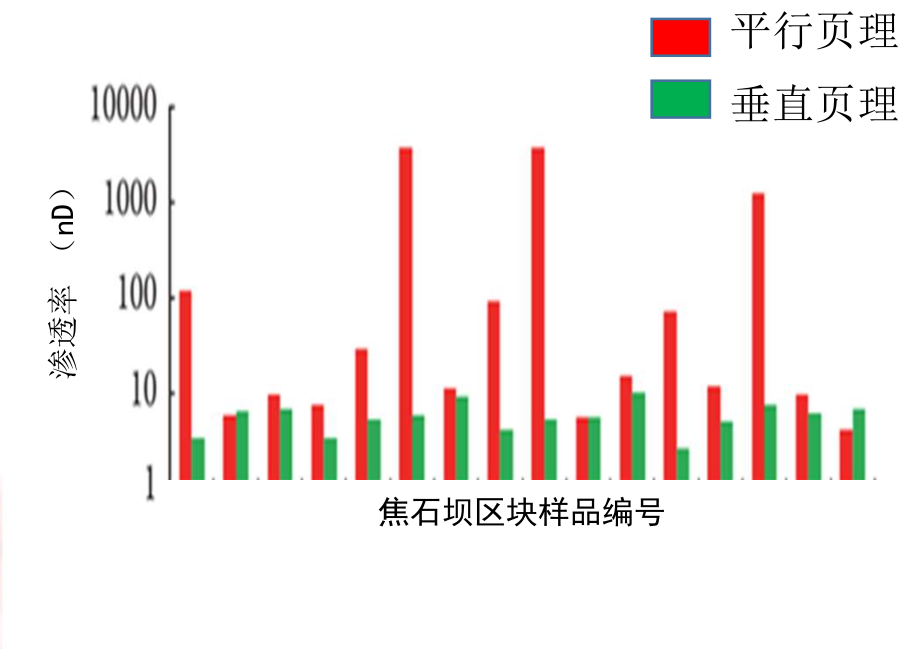
1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

（1）页岩的页理面提高渗透率，为游离气流动提供优势通道

- 页岩岩心浸水实验表明，页理面是页岩气散失的优势通道
- 定向渗透率测试表明，页岩平行页理方向渗透率接近或超过垂直页理方向的10 倍，形成顺层方向页岩气渗流，页理面作为优势通道促进页岩气向构造高部位做短距离运移



页岩气沿层理面侧向优势通道散失图像

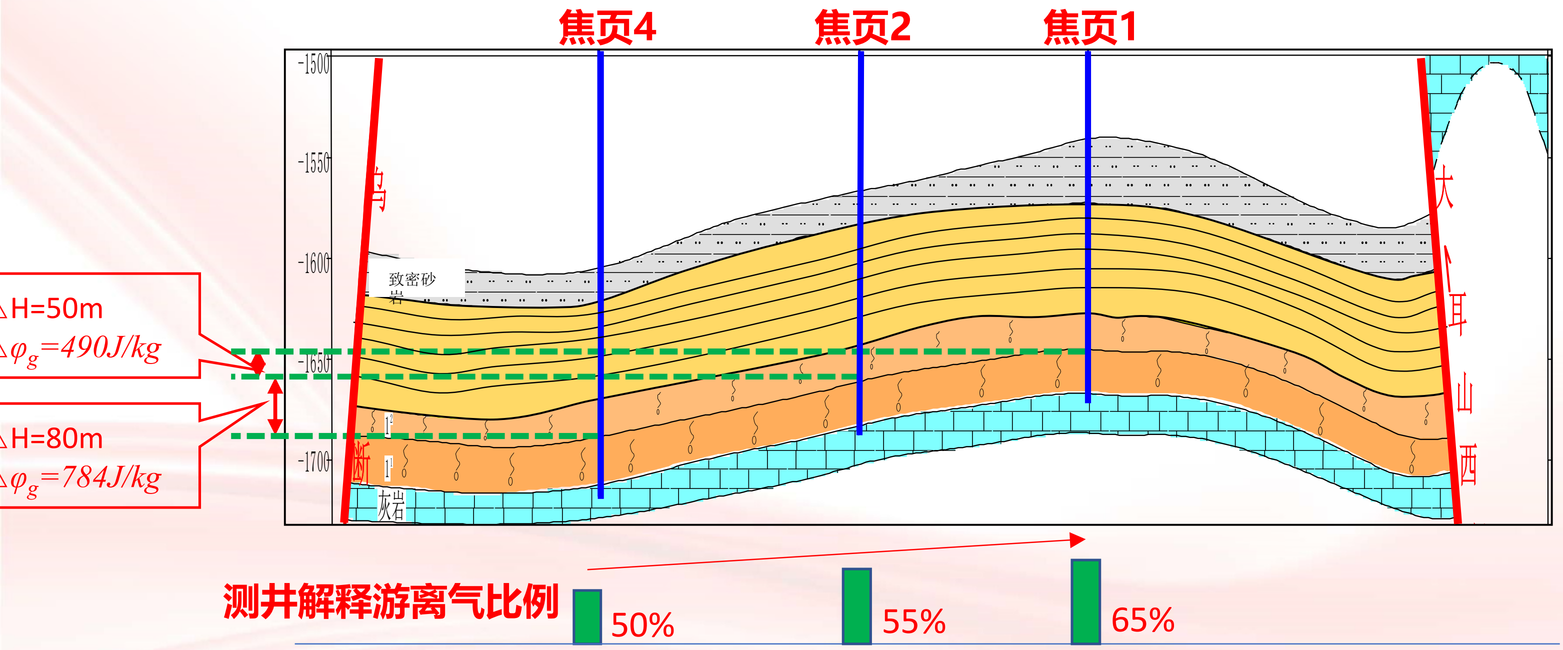


相关成果在《AAPG bulletin》、《MPG》、《JNGSE》发表论文4篇

1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

(2) 高低气势差为页岩游离气在构造高部位聚集提供动力

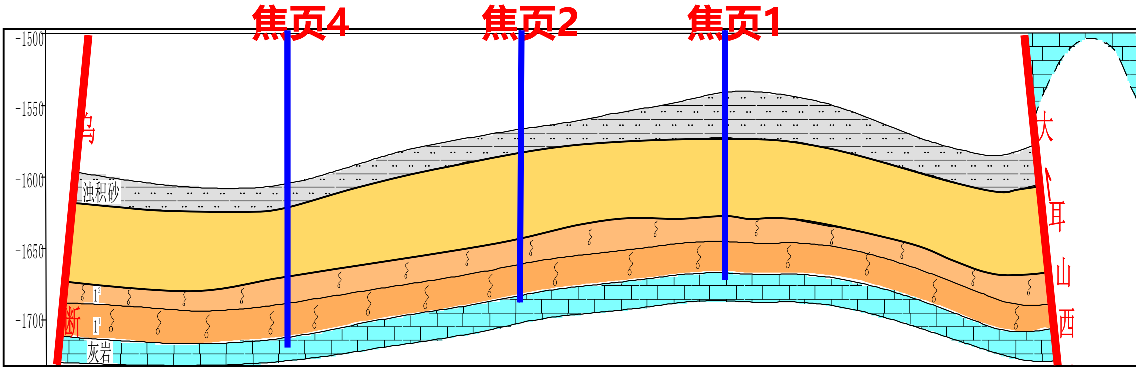
- 以龙马溪一段1小层为目的层，焦页1井与焦页2井高差 50m，势差 490 J/kg； 焦页2井与焦页4井高差 80m，势差 784J/kg，低势区位于构造高部位，指示页岩气运移方向
- 由低部位到高部位，测井解释游离气比例从 50% 增加到 65%



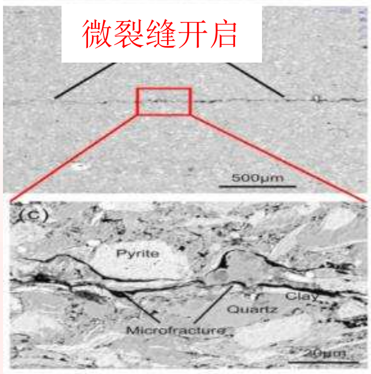
1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

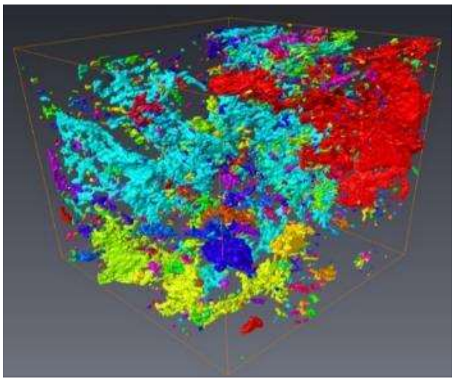
(3)有利的储层条件为页岩游离气高部位聚集提供空间

- 构造高部位微裂缝开启、总孔体积、中值半径、连通孔隙比例更高，更有利于游离气赋存

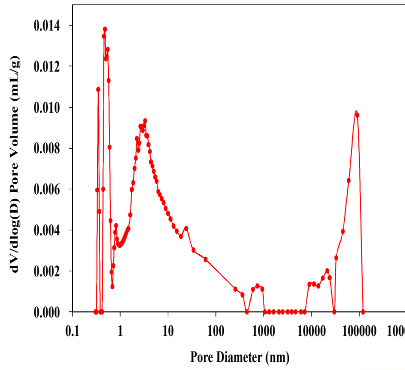


JY-1
龙一1小层
海拔-1684 m



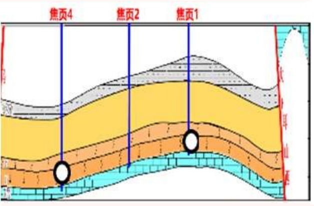


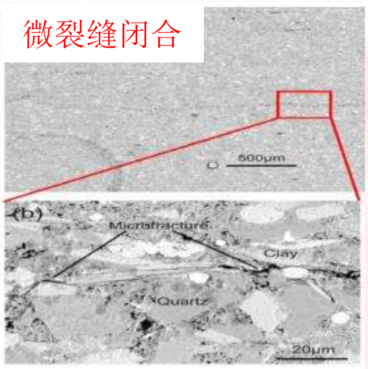
孔隙连通性相对较好

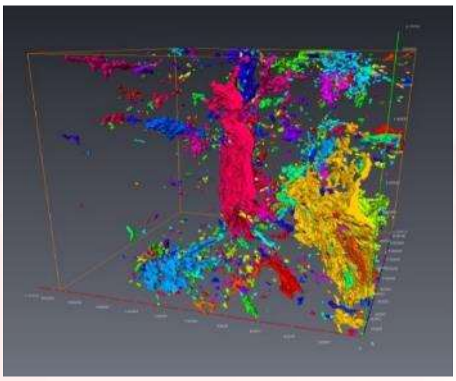


孔体积相对较大

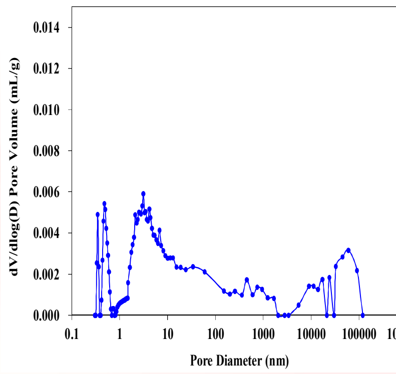
JY-4
龙一1小层
海拔-1763 m







孔隙连通性相对较差

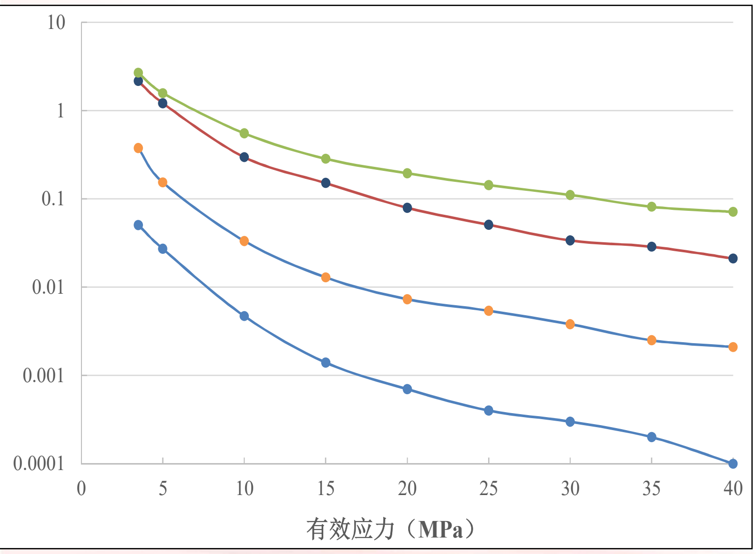


孔体积相对较小

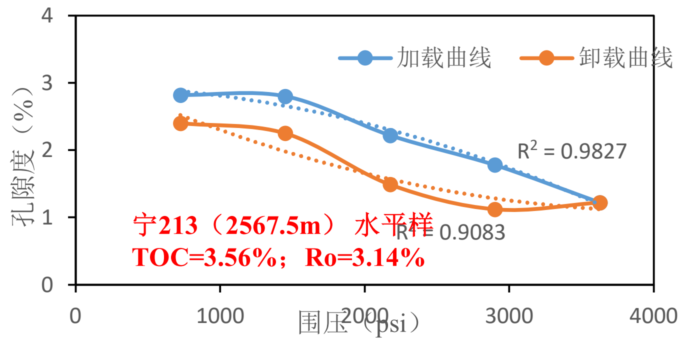
1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

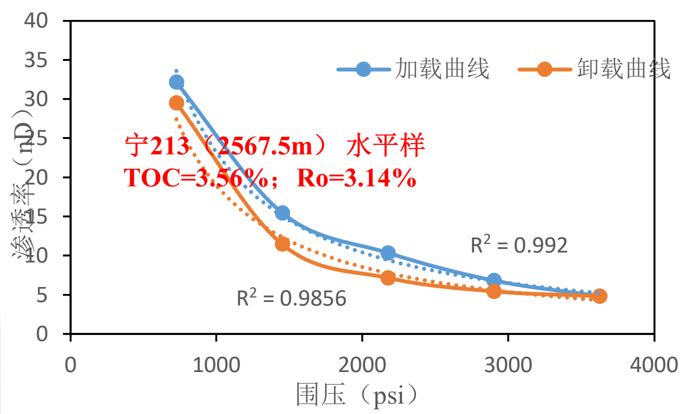
（3）有利的储层条件为页岩游离气高部位聚集提供空间

- 覆压和卸载条件下的孔渗变化特征，表明地层抬升过程中，随着围压（有效应力）的降低，物性发生一定程度的改善 ，因此，构造高部位卸载更大，物性更好。



页岩渗透率随有效应力变化





相关成果在《MPG》发表论文2篇

1、构造稳定区正向构造高部位控制页岩游离气的富集

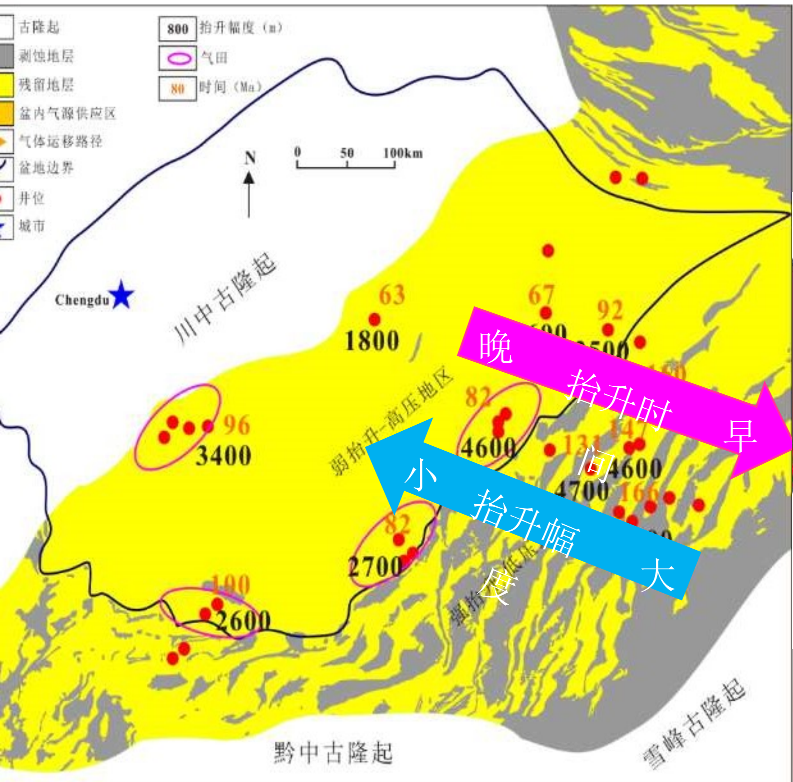
构造稳定区正向构造局部高部位页岩气富集模式

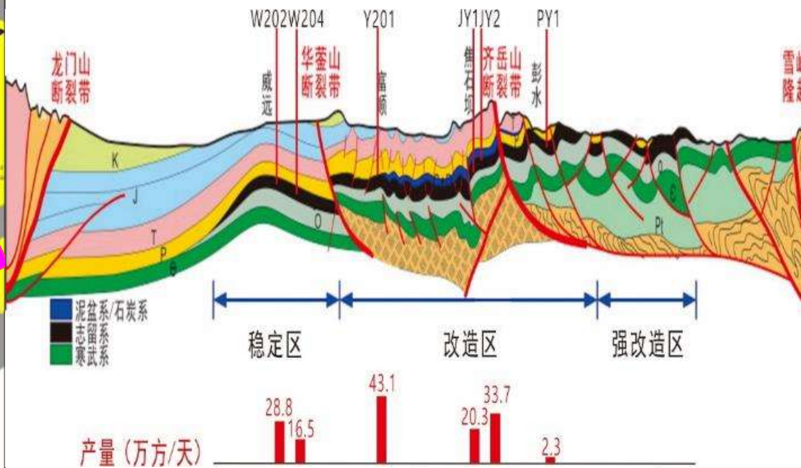
- 页理面提高平行层面渗透率，为页岩游离气高部位聚集提供优势通道
- 高低气势差为页岩游离气高部位聚集提供动力
- 有利孔渗条件为页岩游离气高部位聚集提供空间



2、构造活动强度控制页岩游离气的保存

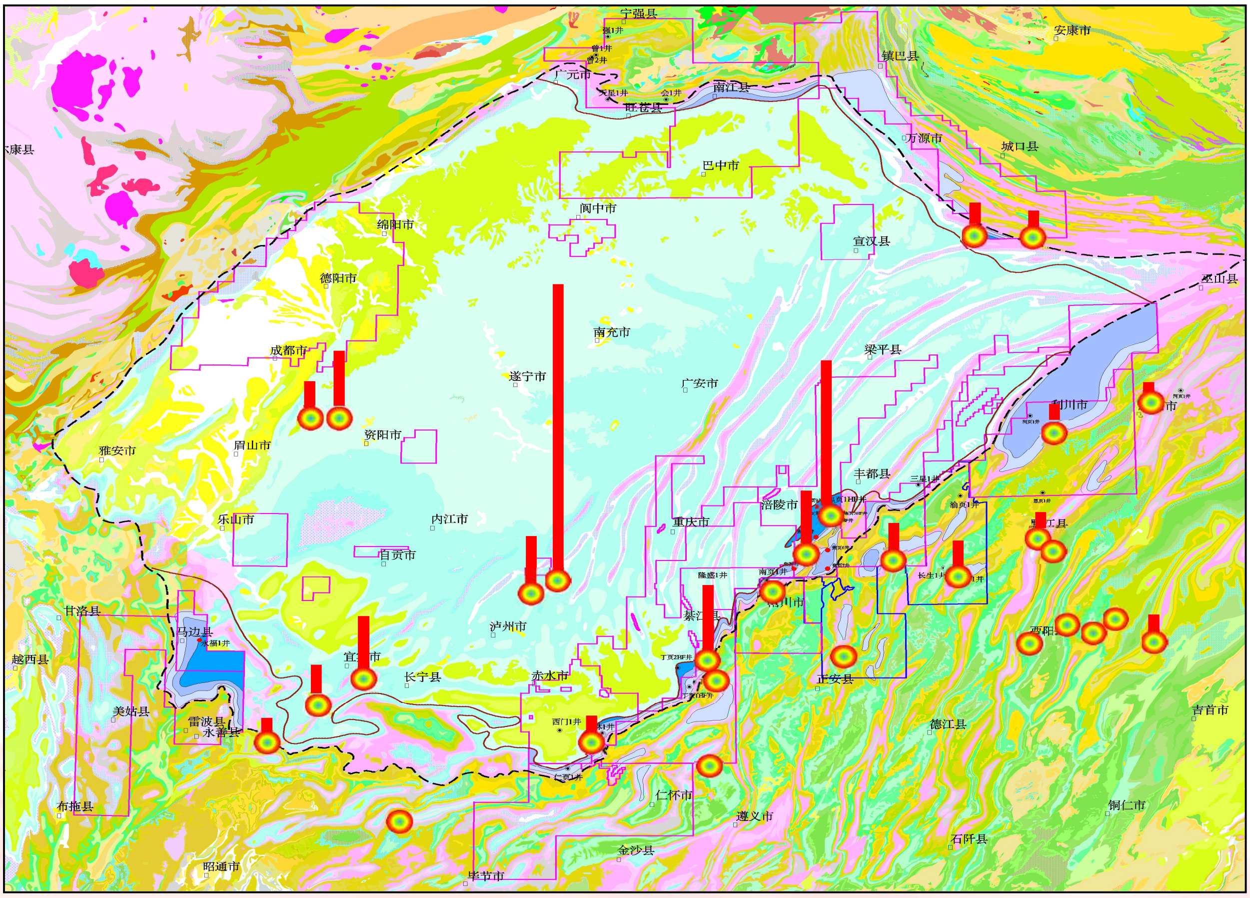
■ 由雪峰隆起—湘鄂西—四川盆地，构造活动时间由早到晚，构造活动强度有强减弱，构造强度的差异对页岩气富集具有明显的控制作用。





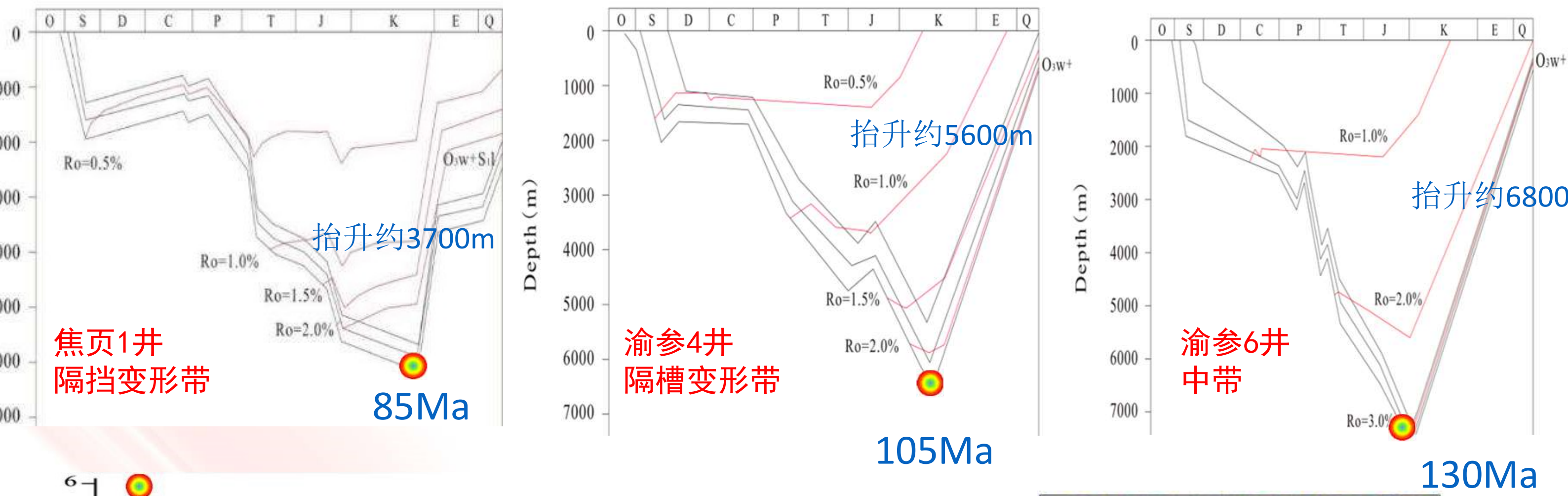
2、构造活动强度控制页岩游离气的保存

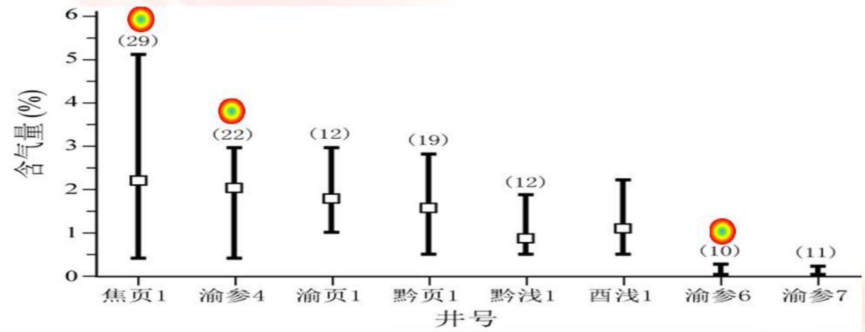
- 构造稳定区高产井多；构造改造区主要分布在四川盆地外，高产井较少

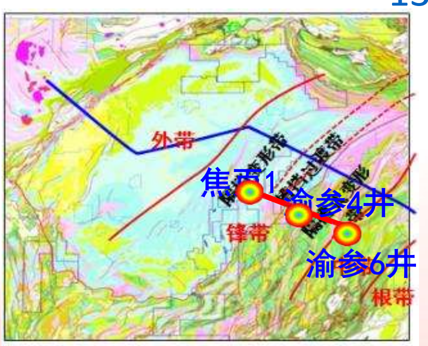


2、构造活动强度控制页岩游离气的保存

- 构造改造区演化过程相似，经历早期深埋，晚期快速抬升
- 不同部位抬升时间和幅度差异大，盆外地区抬升时间早，持续时间长，抬升幅度大







相关成果在《fuel》、《JPSE》发表论文2篇

2、构造活动强度控制页岩游离气的保存

- 盆地内构造活动弱，目的层裂缝少，保存条件相对较好；
- 盆地外构造活动强，目的层裂缝多，被方解石充填，保存条件相对较差



渝参4井



焦页1井



渝参8井



渝参6井



渝参7井

盆地内

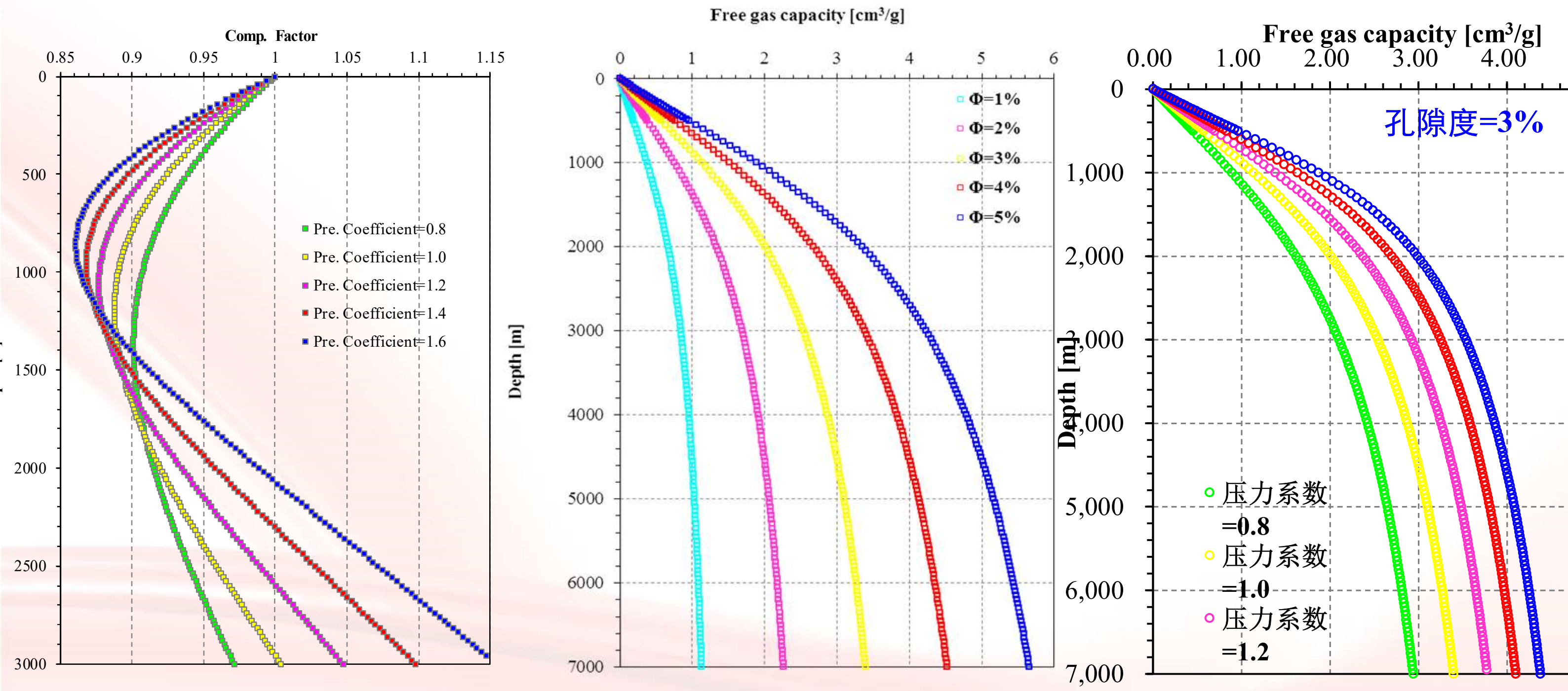
盆地外

2、构造活动强度控制页岩游离气的保存

■ 压力、孔隙度是页岩储层中游离气含量重要控制因素

游离气含量的定量预测模型

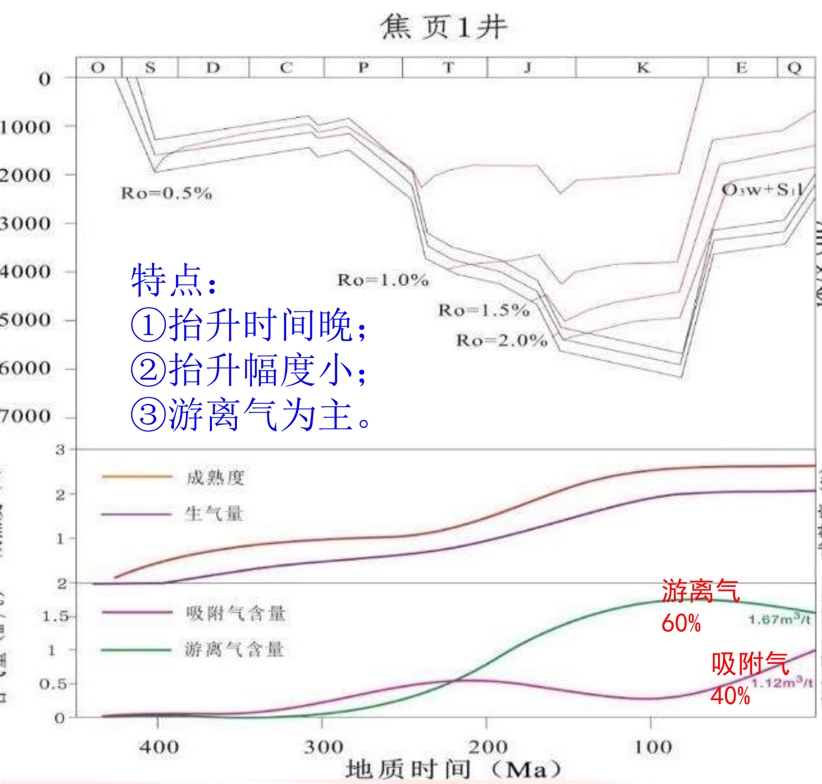
$$V_{free} = \frac{p\phi(1 - S_w)T_0}{zTp_0\rho_{shale}}$$



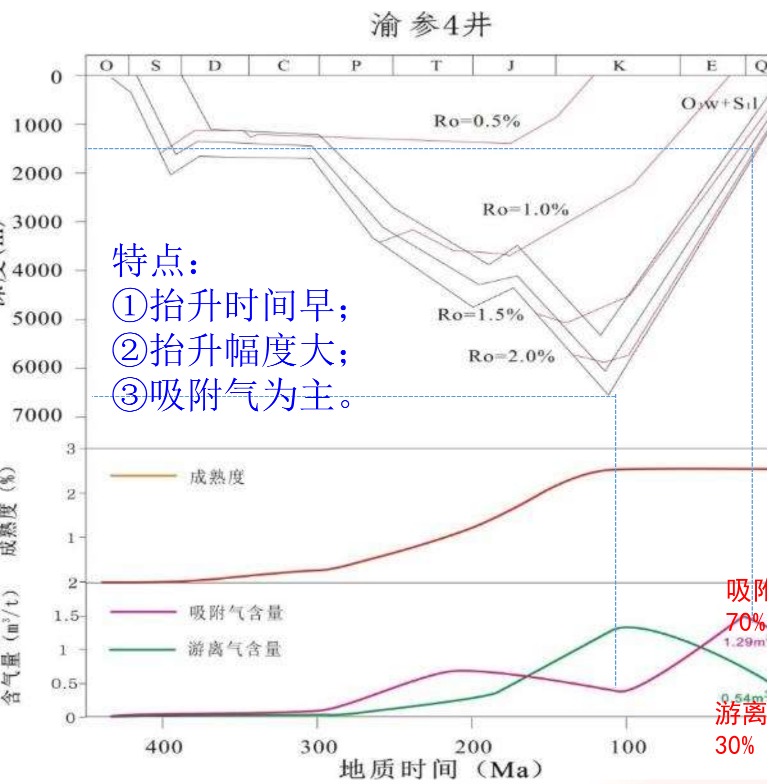
相关预测模型在《International Journal of Coal Geology》发表论文1篇

2、 构造活动强度控制页岩游离气的保存

■ 构造活动强度决定了页岩气最终赋存状态和含气量的大小。构造活动强度小，有利于游离气保存，形成页岩气高产。



页1井五峰—马溪组页岩现今埋深2400米左右，压系数1.5，保存条件好，游离气占比60%，总含气2.89m³/t

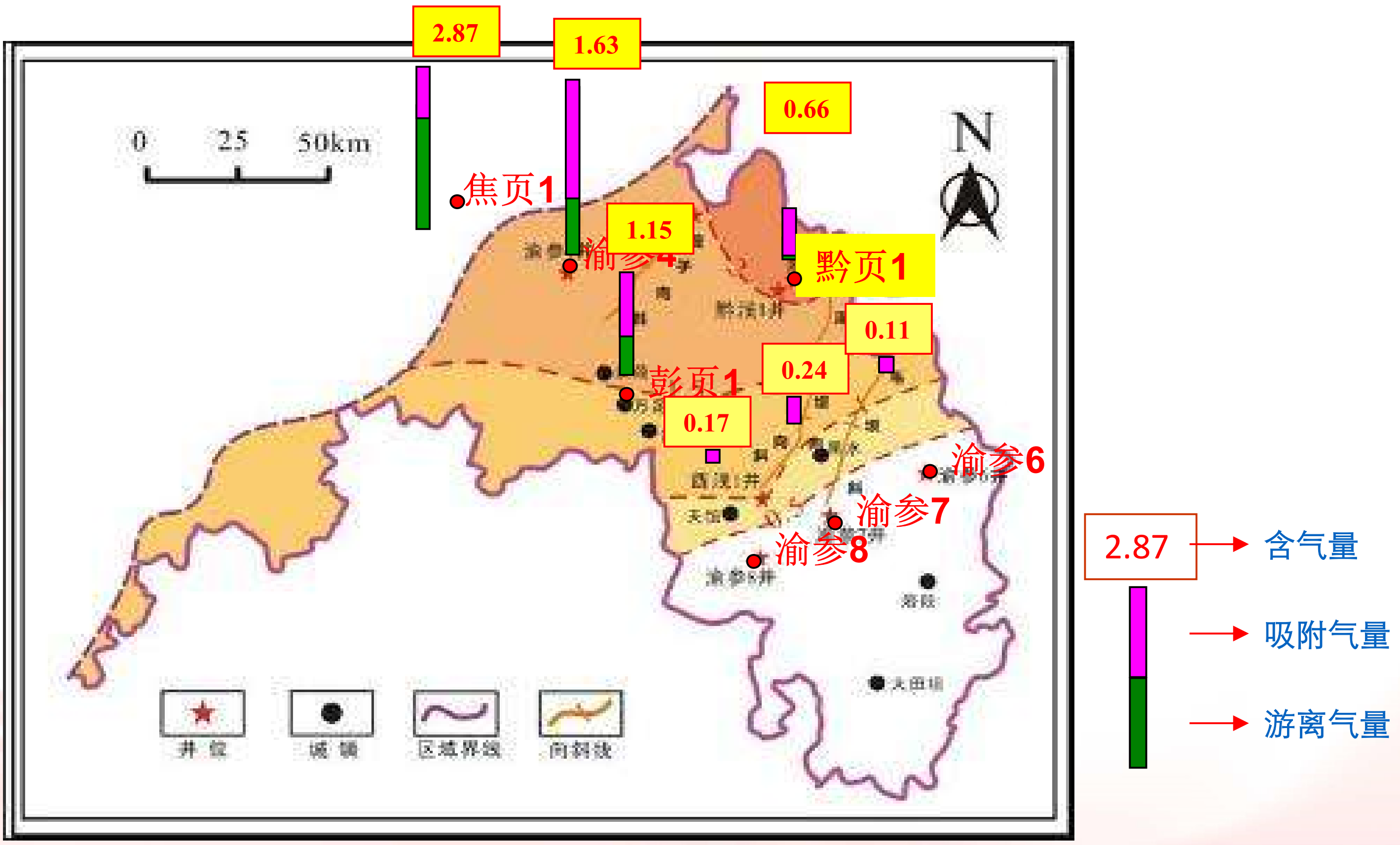


渝参4井五峰—马溪组页岩现今埋深700米左右，压力系数1，保存条件较差，游离气占比30%，总含气量1.83m³/t

相关演化模式在《Fuel》发表论文2篇

2、 构造活动强度控制页岩游离气的保存

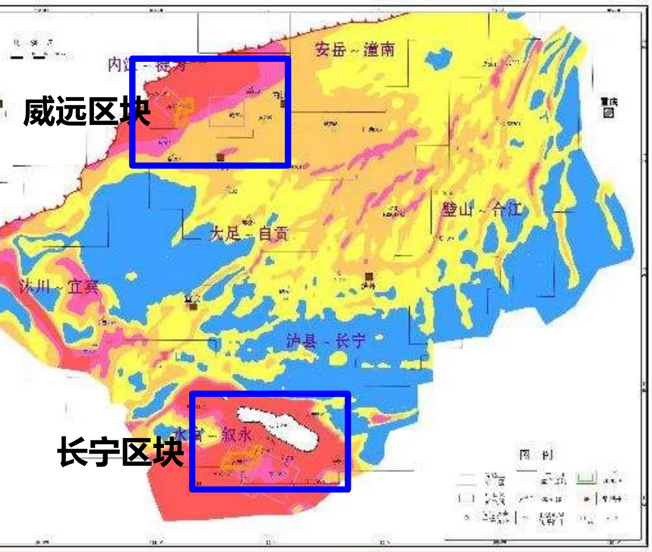
■ 构造活动强度决定了页岩气最终赋存状态和含气量的大小。构造活动强度小，有利于游离气保存，形成页岩气高产。



焦石坝-渝东南地区单井页岩气赋存状态特征分布图

应用意义

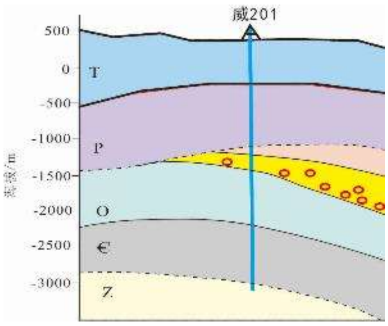
- 代表性成果揭示构造稳定区正向构造高部位有利于页岩游离气富集，形成页岩气高产，为威远-长宁总体100亿方开发方案编制提供参考，促进四川盆地海相页岩气商业开发。



示范工程工区及周边潜力区示意图

威201井

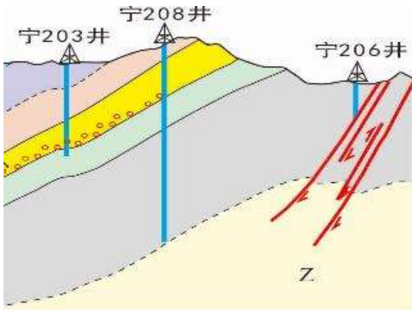
埋藏深度：1540米
压力系数：0.92
测试产量：0.26万方/天



加里东古剥蚀边缘散失型

宁208井

距剥蚀线距离：3000米
压力系数：0.5
测试产量：0.12万方/天



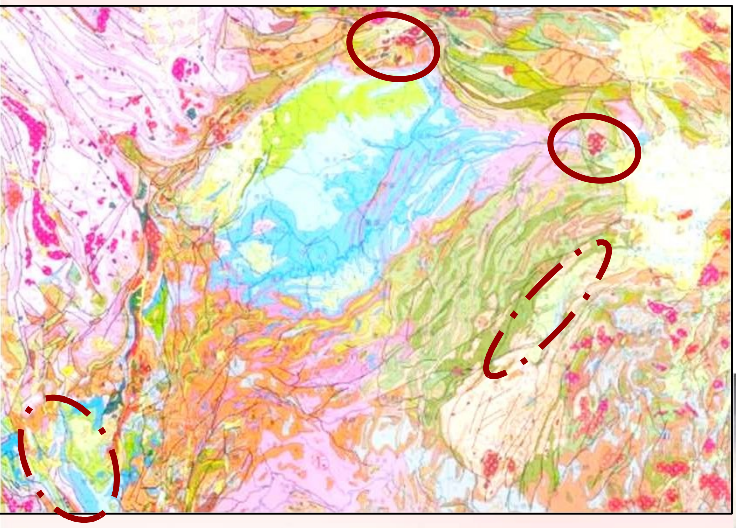
喜山期抬升剥蚀边缘散失型

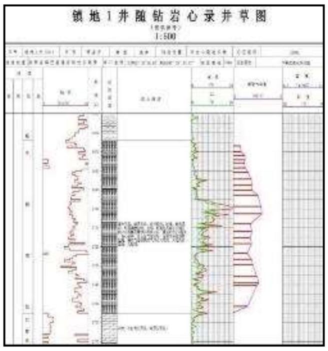
应用意义

- 代表性成果揭示构造活动弱有利于页岩游离气的保存，具有高产潜力，为中国地质调查局开展复杂构造区页岩气选区提供依据，基于“强中找弱”观点取得了一定的成效。

页岩分布广、厚度大、成熟度高，含气性好

聚焦盆地周缘古隆起岛链

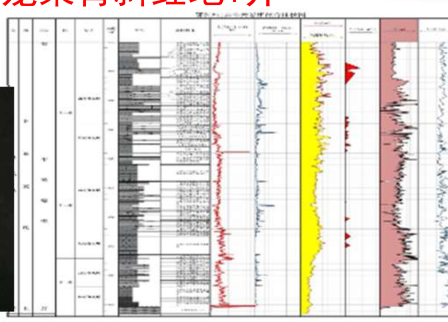




汉南古陆镇1井



神龙架背斜红地1井





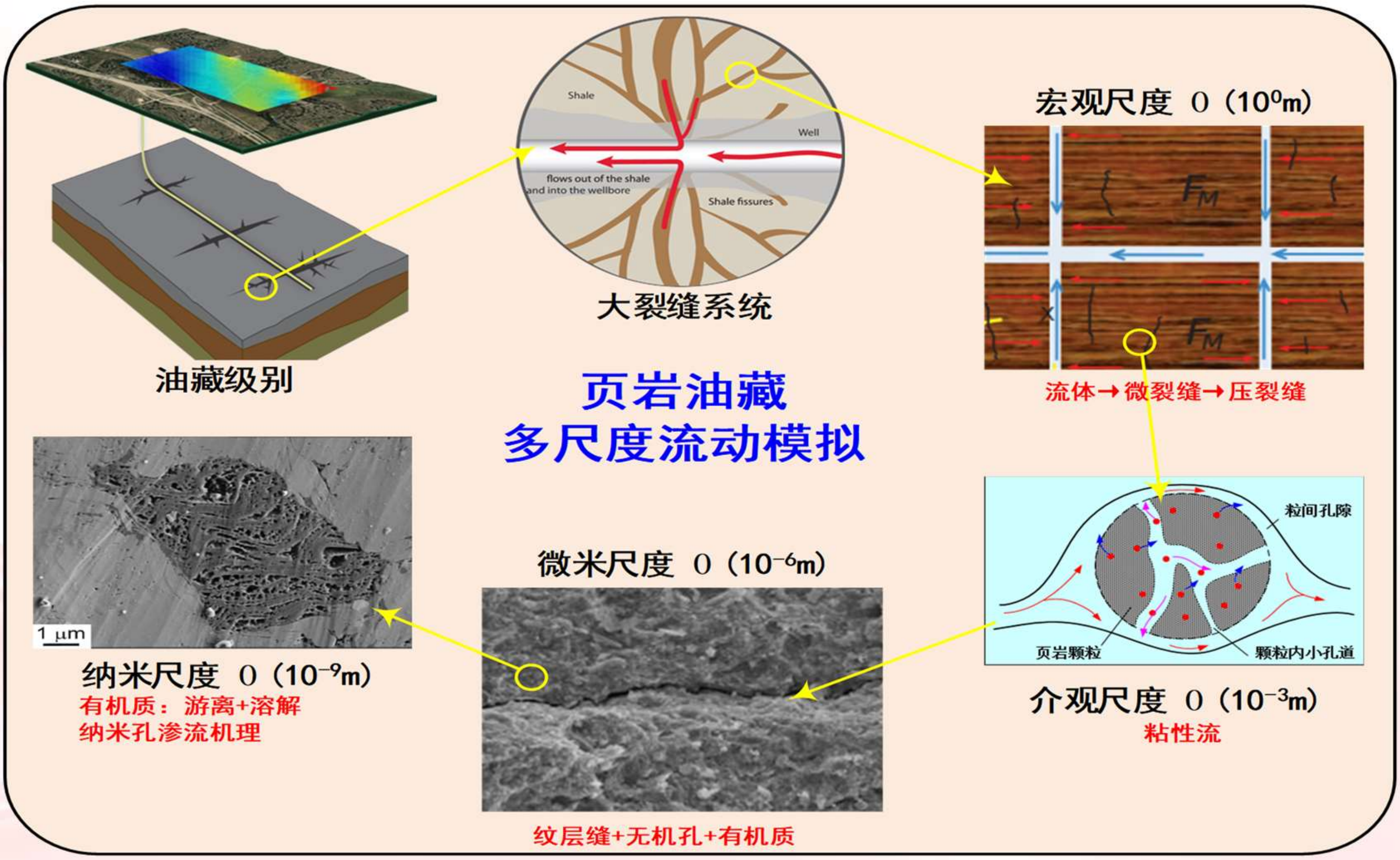
代表性成果之三

页岩含油性和页岩油可动性的主控因素

相关成果近年来发表在《Fuel》、《IJCG》、《MPG》、《JPSE》、《JNGSE》上，共计10篇

问题提出

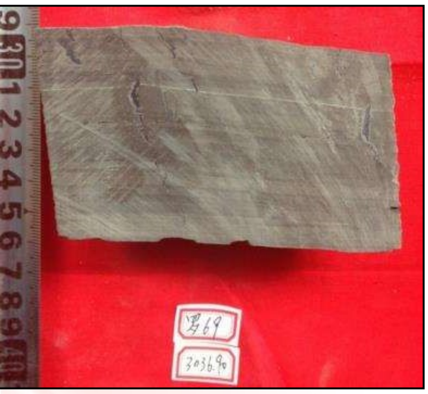
- 页岩油赋存状态及可动性控制因素不明：需加强芦草沟组页岩油可动性的控制因素及评价研究，深入探讨页岩油赋存状态和可动性的影响因素、页岩油流动的临界孔径等问题，为页岩油资源量的计算，”甜点”预测评价提供关键参数指导



页岩油可动性研究技术路线图

1、页岩孔隙结构对含油性的控制—页岩油主要赋存于中孔和宏孔

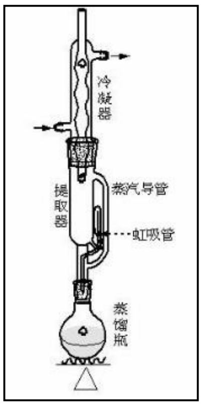
利用气体吸附与索氏抽提确定页岩油赋存孔径范围



69井，3036.9m，块状泥岩



比表面积及孔径分析仪



索氏抽提器

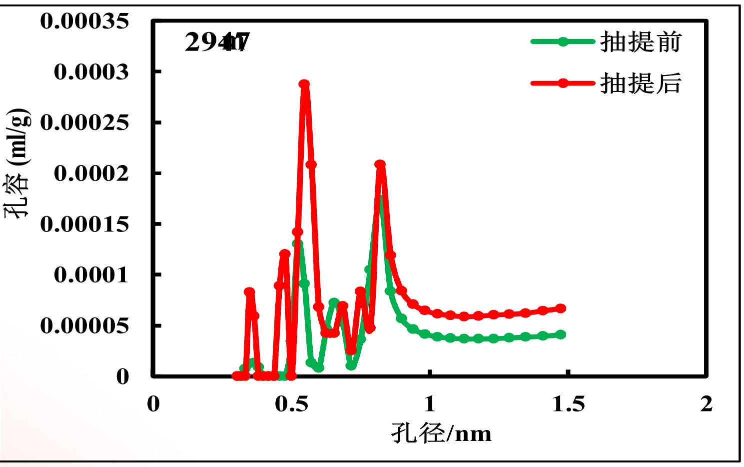


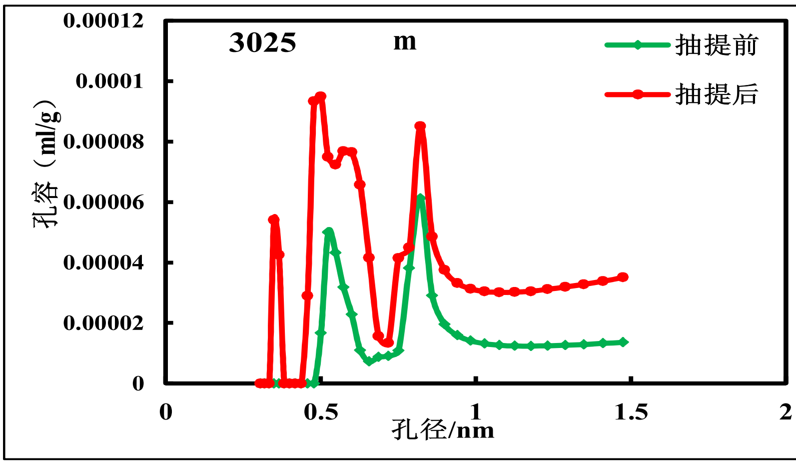
比表面积及孔径分析仪

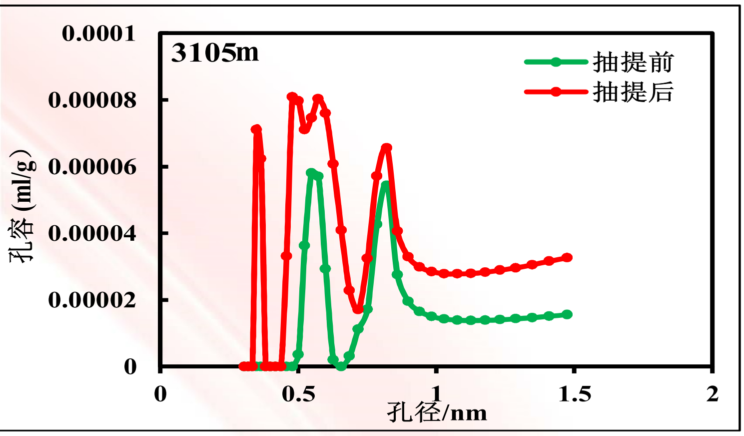
原始岩心 → 分别进行 CO_2和N_2吸附 → 三氯甲烷抽提 → 再次分别进行 CO_2和N_2吸附

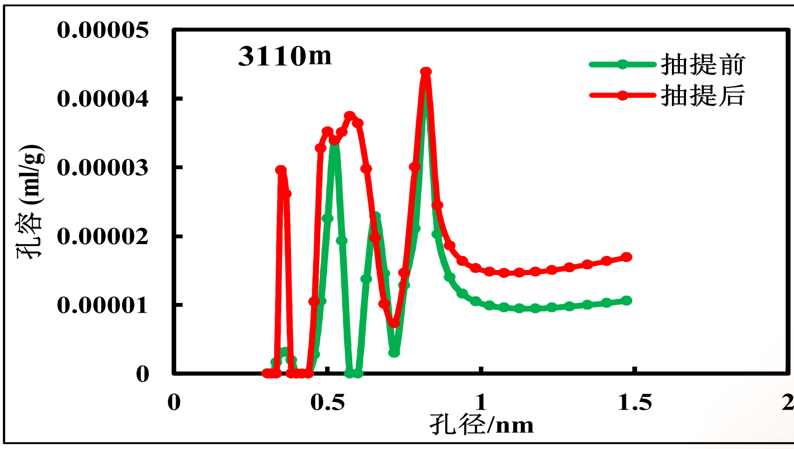
通过三氯甲烷抽提，可将岩心中的残留烃去除，比较抽提前后孔体积及比表面积的变化，可以判别页岩油赋存的主要空间。

1、页岩孔隙结构对含油性的控制—页岩油主要赋存于中孔和宏孔





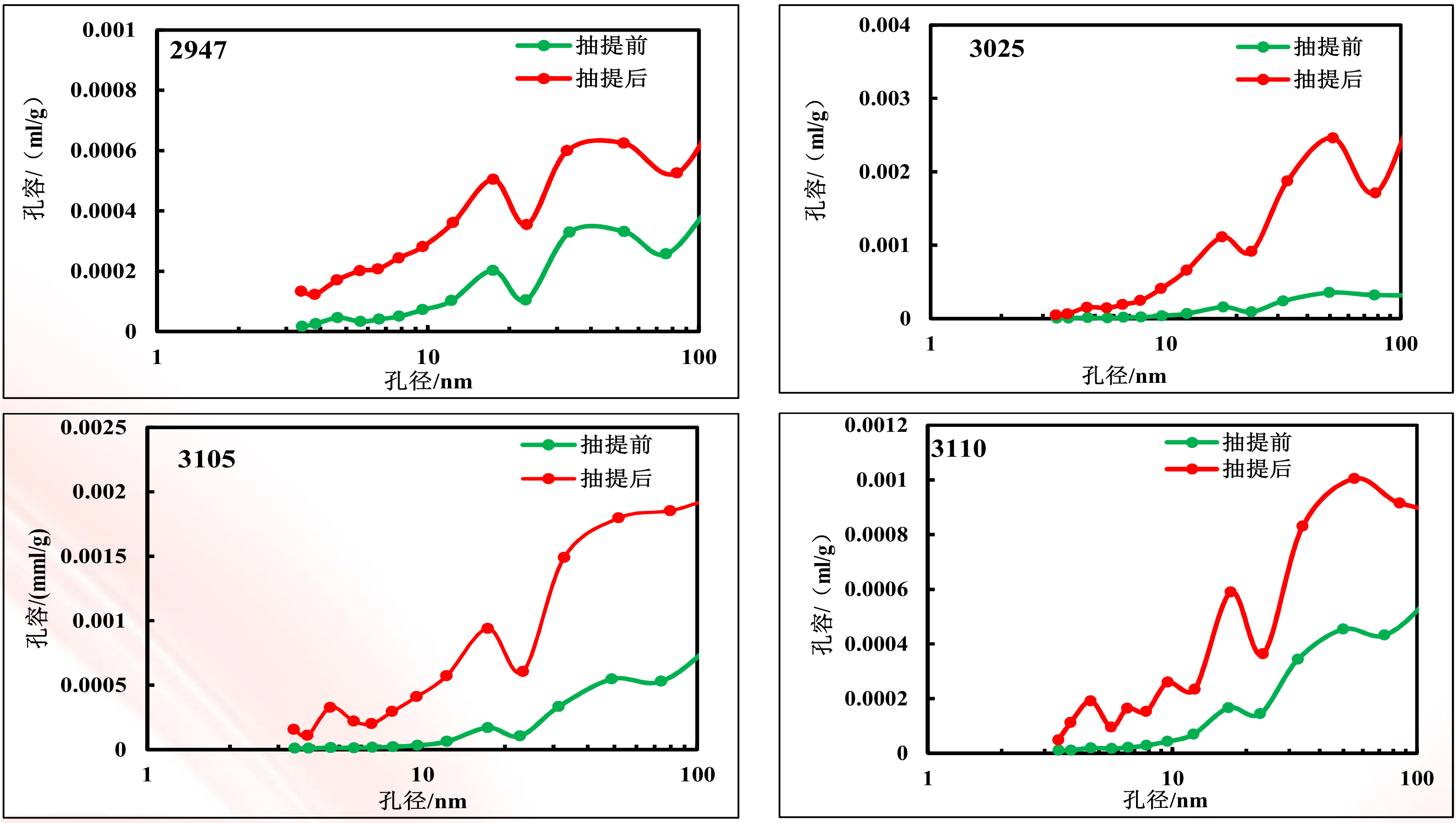




沾化凹陷罗69井沙三下亚段泥页岩样品二氧化碳吸附实验图

抽提后微孔体积有所增加，但增量较小，介于0.00023~0.0011mL/g，表明微孔不是页岩油赋存的主要空间；抽提前后峰值的分布区间不变，微孔体积增量孔径主要集中在0.5~0.8nm左右。

1、页岩孔隙结构对含油性的控制—页岩油主要赋存于中孔和宏孔

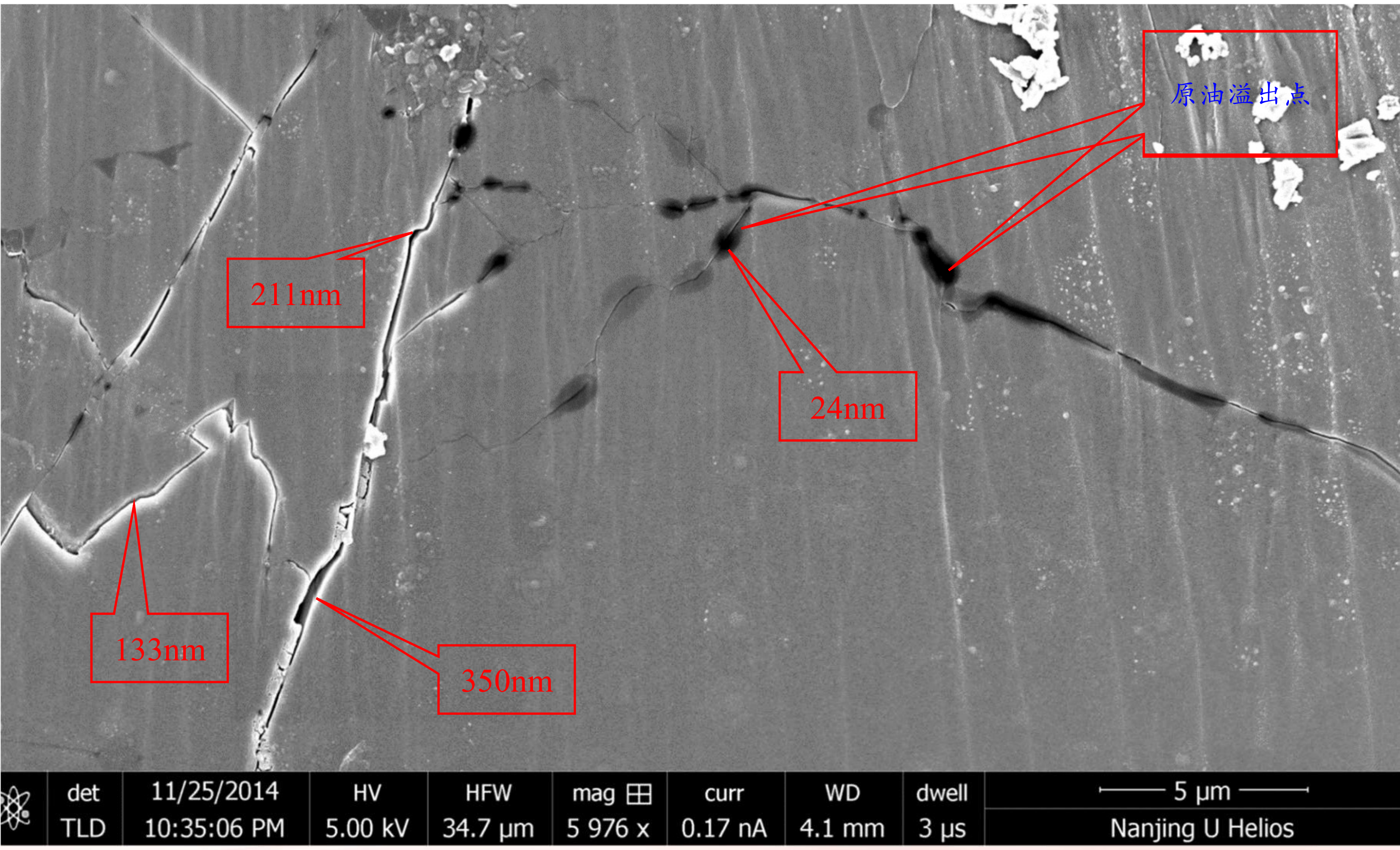


沾化凹陷罗69井沙三下亚段泥页岩样品氮气吸附实验图

抽提后介孔和宏孔孔体积有所增加，且宏孔孔体积增加更为明显，表明页岩油赋存于介孔和宏孔中，以宏孔为主。

1、页岩孔隙结构对含油性的控制—页岩油主要赋存于中孔和宏孔

扫描电镜下抽真空，页岩样品的孔缝中有原油渗出，渗出原油的孔隙属于纳米级孔隙，表明纳米级孔隙对原油富集具有有效性。



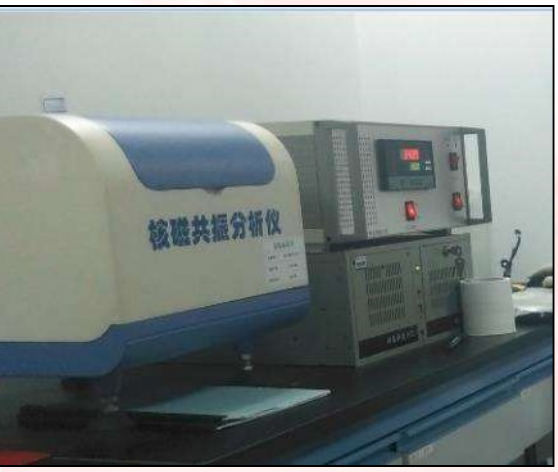
东营凹陷樊页1井扫描电镜图像

2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

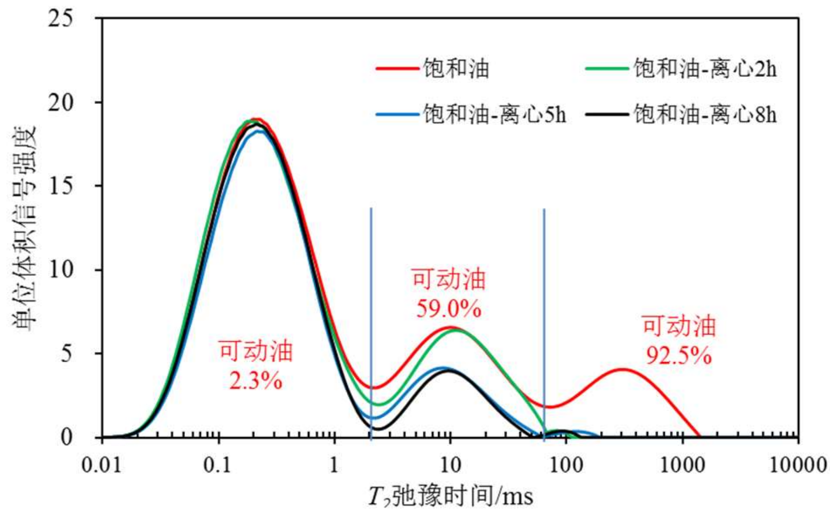
（1）利用核磁共振分析与离心法确定页岩可动油饱和度和束缚油饱和度原理



上海纽迈离心机



上海纽迈核磁共振分析仪



罗69井3120样品核磁共振分析结果

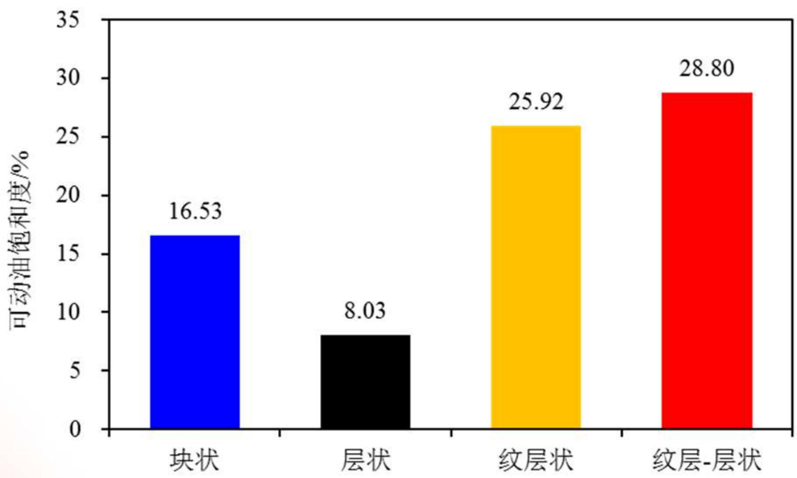
沾化凹陷罗69井沙三下亚段不同层理发育程度样品实验结果

深度/m	层理发育特征	可动油饱和度/%	束缚油饱和度/%
2947	块状	15.06	84.94
2962	块状	18.00	82.00
3025	层状	8.03	91.97
3055	纹层状	44.86	55.14
3060	纹层状	12.74	87.26
3110	纹层—层状	34.17	65.83
3120	纹层—层状	17.66	82.34
平均		21.50	78.50

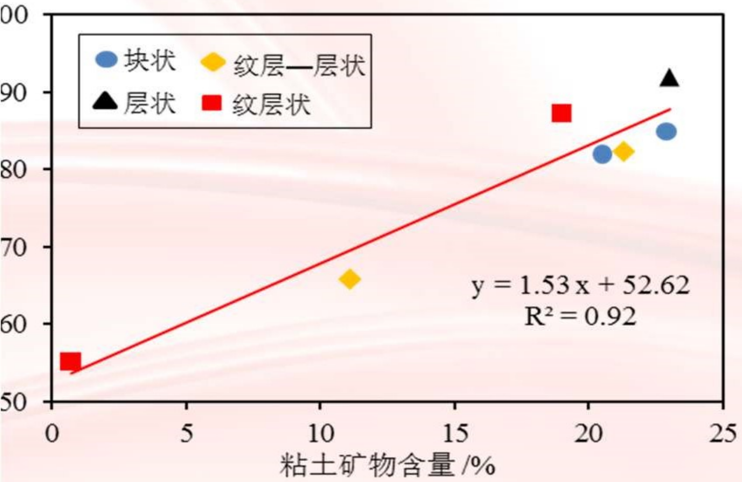
2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

2）矿物组成对页岩油可动性影响—方解石含量高、纹层发育利于页岩油流动

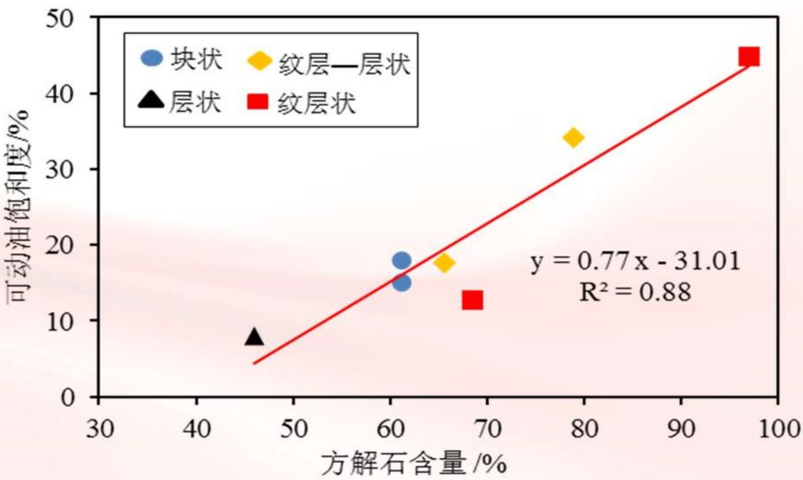
- 束缚油饱和度与粘土矿物含量呈明显正相关，表明粘土矿物对束缚油作用明显
- 可动油饱和度与方解石含量呈明显正相关，表明方解石对可动油的作用明显；
- 纹层越发育，可动油饱和度越高，表明纹层发育有利于页岩油流动。



沾化凹陷罗69井沙三下亚段不同层理发育程度样品可动油饱和度特征



沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品束缚油饱和度与粘土矿物含量关系

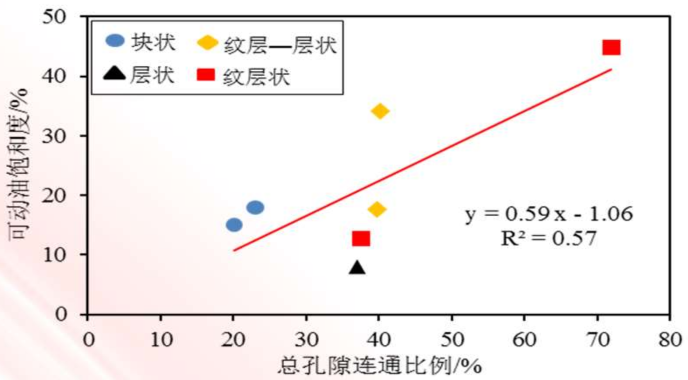


沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品可动油饱和度与方解石含量关系

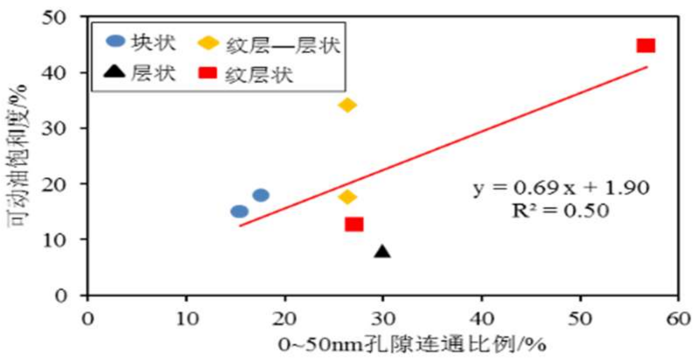
2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

3）页岩孔隙结构对页岩油可动性的影响—小孔控制束缚油而大孔控制可动油

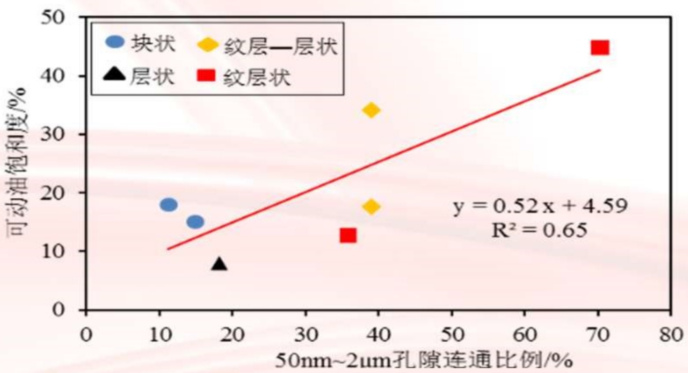
- 可动油饱和度与孔隙连通性呈明显的正相关关系，表明连通性越好，越有利于页岩油流动；与连通的小孔相比，连通的大孔对页岩油可动性的作用更为明显；比表面积对束缚油具有一定的控制作用，不利于页岩油的流动，而比表面积主要由小孔提供。



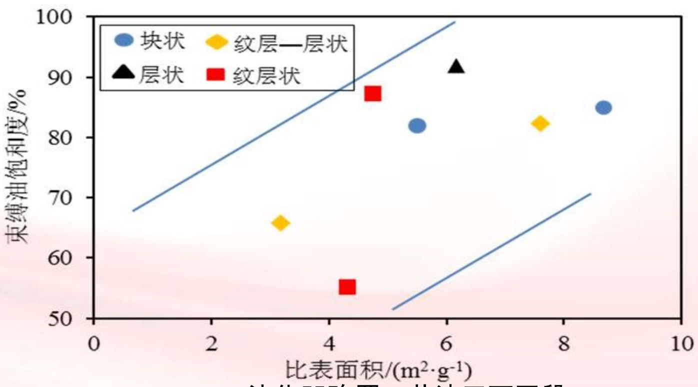
沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品可动油饱和度与孔隙连通性关系



沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品可动油饱和度与0~50nm孔隙连通性关系



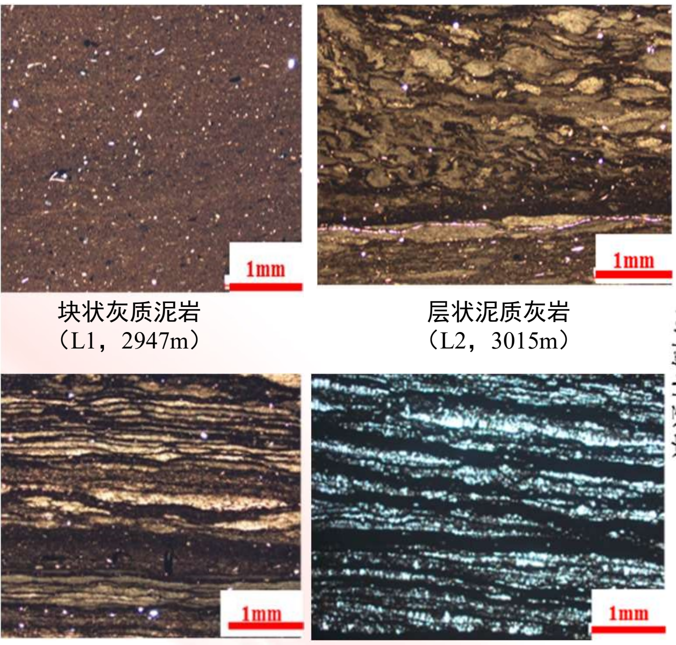
沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品可动油饱和度与50nm~2μm孔隙连通性关系



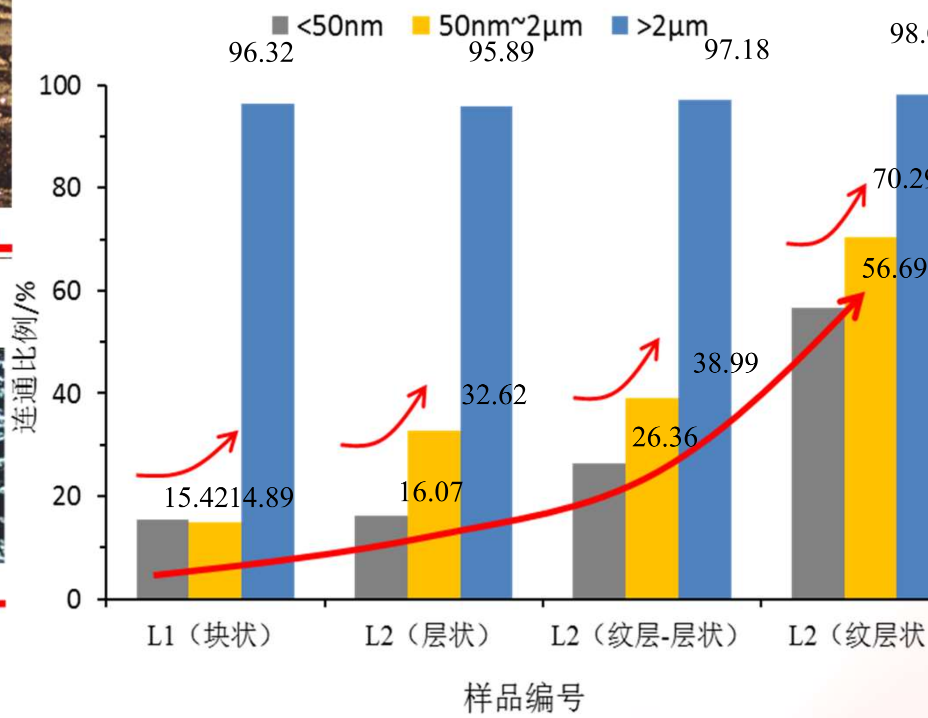
沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩样品束缚饱和度与比表面积关系

2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

（3）页岩孔隙结构对页岩油可动性的影响—小孔控制束缚油而大孔控制可动油的原因之二



沾化凹陷罗69井沙三下亚段
泥页岩岩心薄片照片



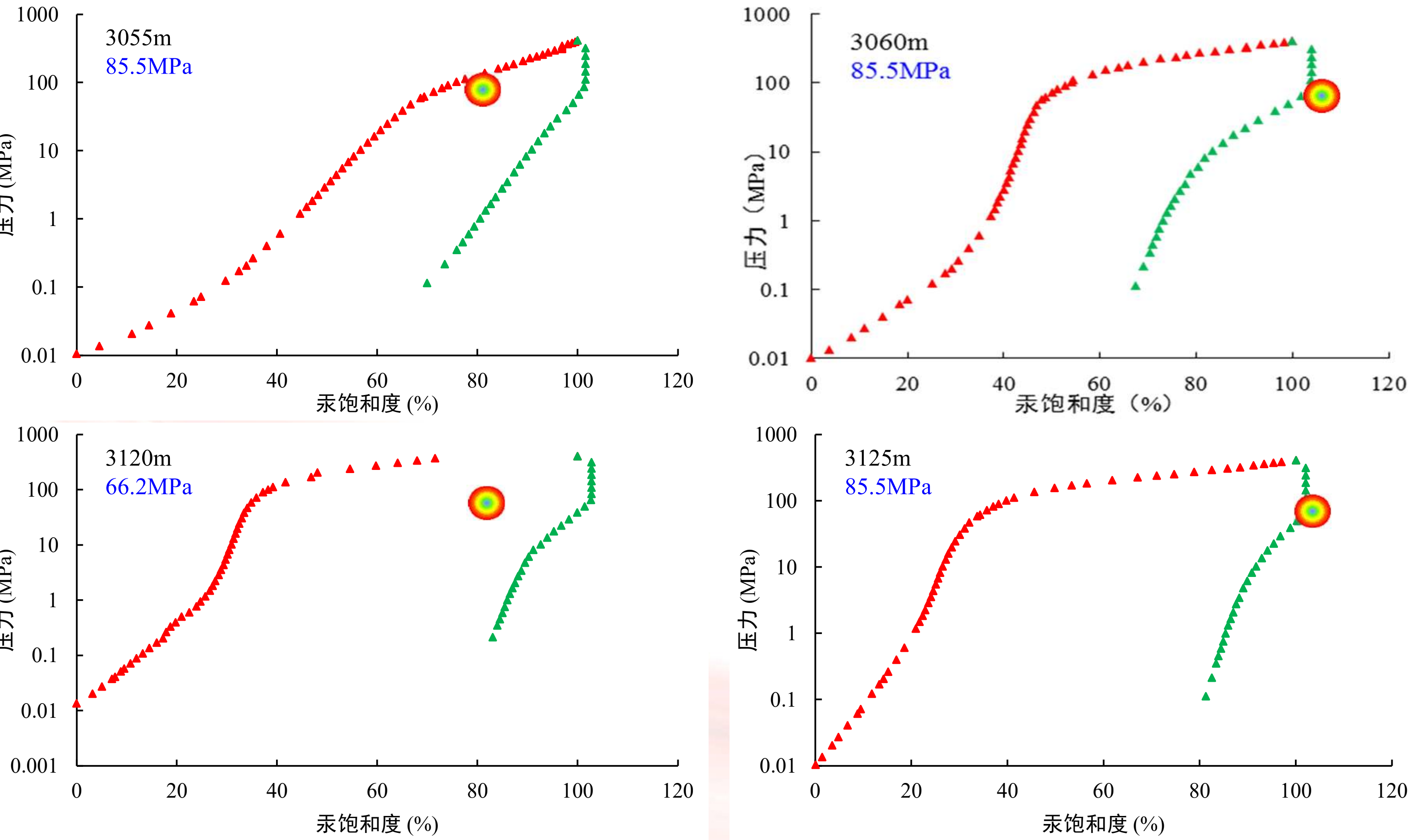
沾化凹陷罗69井沙三下亚段泥4块样品连通比例分

大孔连通性好，更易与层理缝相连接，构成渗透性网络，为页岩油流动提供良好的渗透性通道；而小孔狭小，孤立分布，连通性差。

2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

（4）页岩油临界流动孔径为50nm

- 对样品进行高压压汞分析，汞饱和度减小时（临界可动）的压力即为最小孔喉对应的排替压力pm，介于66.2~85.5MPa。



沾化凹陷罗69井沙三下亚段泥页岩样品高压压汞实验结果

2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

（4）页岩油临界流动孔径为50nm

- 汞饱和度减小时对应的压力pm为 66.2~85.5MPa，汞流动的临界孔喉半径rm为9~11nm。
- 实际油藏条件下，当地层压力系数为1.0时，页岩油的临界流动孔径为52.38~56.34nm，因此，页岩油的临界流动孔径约为 50nm。

①
- 汞的临界流动孔喉半径

$$r_m = 2\sigma_m \cos\theta_m / p_m$$

p_m=85.5MPa，r_m取最小值9nm

②
- 该孔径大小下页岩油可流动对应的油藏压力

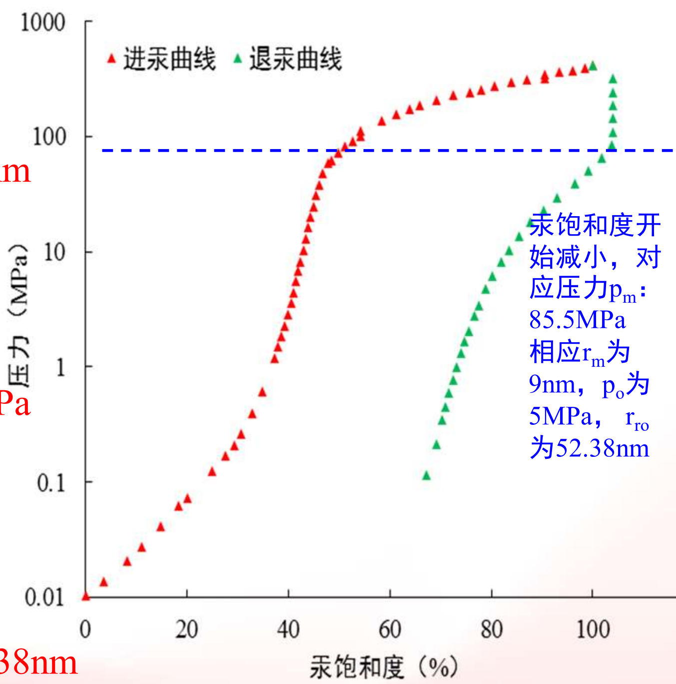
$$p_o = \frac{\sigma_o \cos\theta_o}{\sigma_m \cos\theta_m} p_m$$

θ_o=0°，p_o取最大值5MPa

③
- 实际油藏条件下，页岩油可流动的临界孔喉半径

$$\frac{p_{ro}}{p_o} = \frac{r_{ro}}{r_o}$$

p_{ro}=29.10MPa，r_{ro}取最小值52.38nm



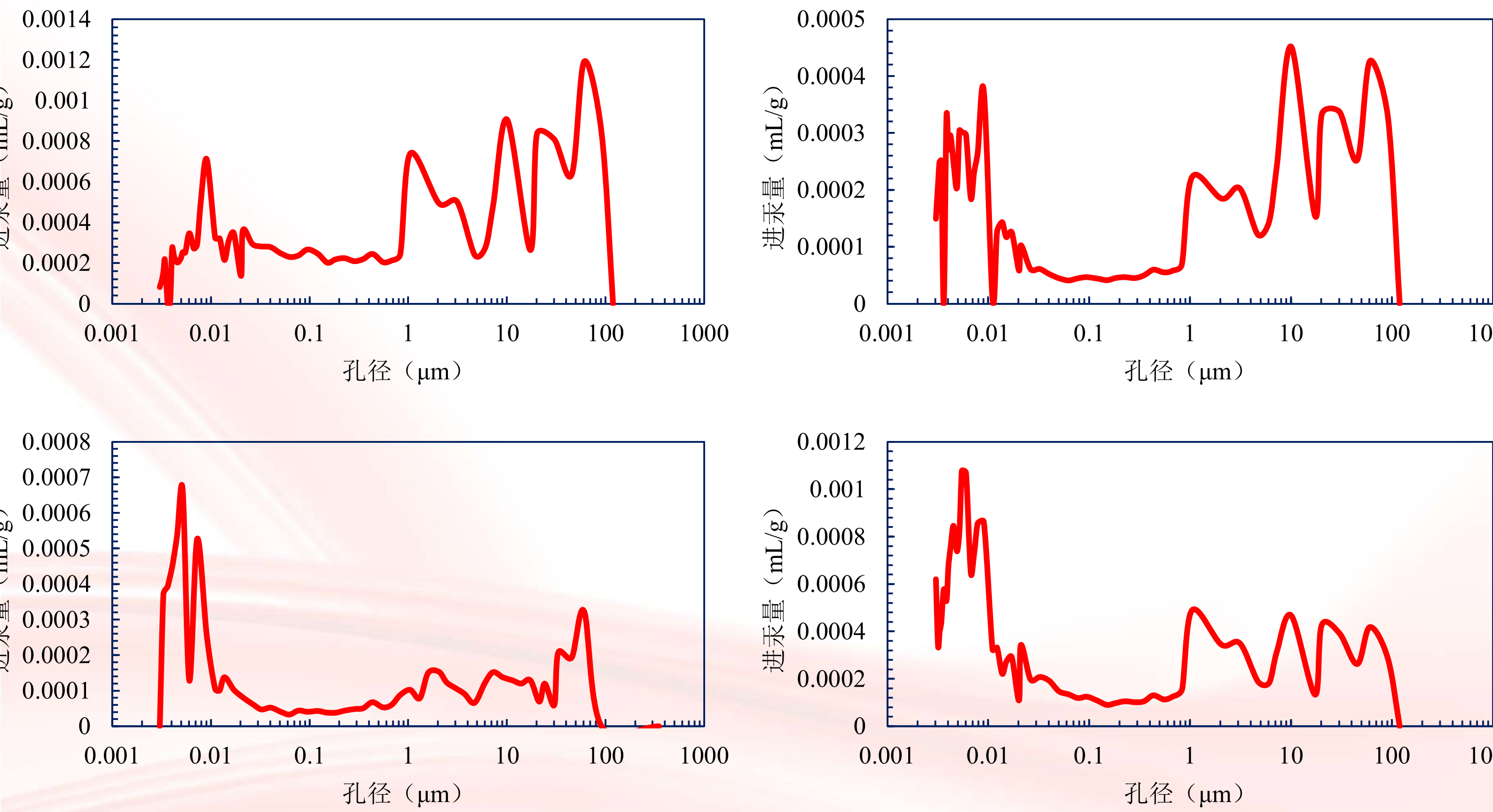
沾化凹陷罗69井泥页岩样品高压压汞实验结果（3060m

式中，r_m为汞的临界流动孔喉半径，取芯前后不变；σ_m为汞表面张力，480nN/m；θ_m为汞与岩石润湿角，140°；p_m为汞饱和度减小时对应的压力；p_o为该孔径条件下油可流动所对应的压力；r_m为油的临界流动孔喉半径，近似认为r_o=r_m；σ_o为相应温压条件下油水界面张力，21.5nN/m，θ_o为水与岩润湿角，0°~180°，水润湿时θ_o<90°，油润湿时θ_o>90°；p_{ro}为实际油藏压力，沙三下亚段深度范围为2910~3130m，当地层压力系数为1.0时，地层压力约为29.10~31.30m；r_{ro}为实际油藏中油的临界流动孔喉半径。

2、页岩储层特征对页岩油可动性的影响

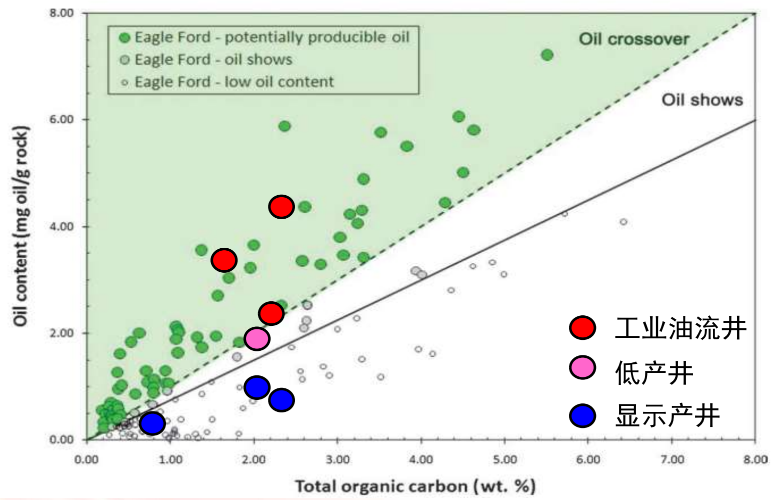
（4）页岩油临界流动孔径为 50nm

- 允许页岩油流动的孔隙占所有孔隙的29%~60%，平均为44.75%，表明相当一部分孔隙有利于页岩油的流动。

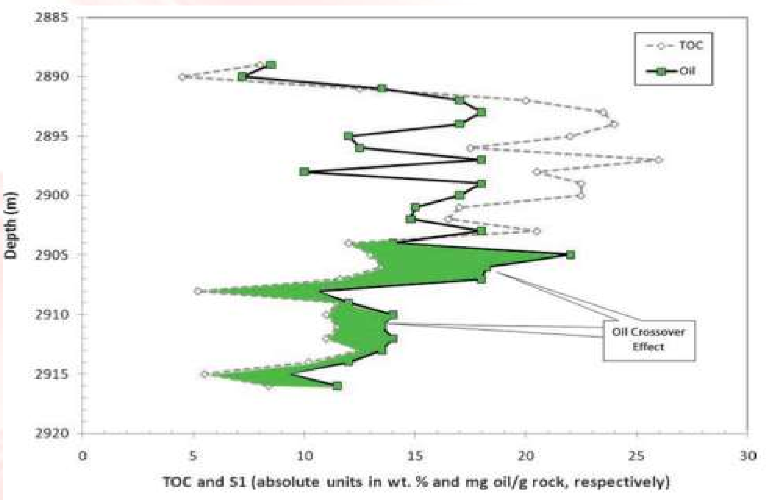


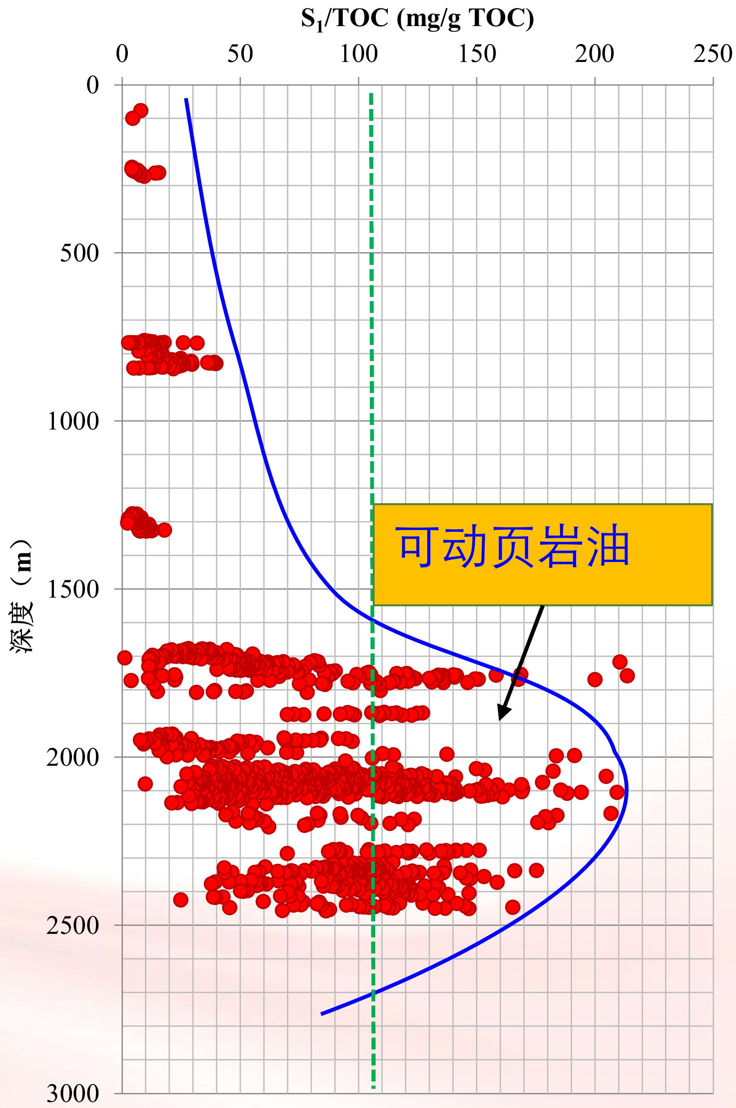
应用意义

■ 代表性成果深化了陆相页岩油可动性研究，明确了陆相富含液态烃页岩“甜点区”控因及参数，为陆相页岩油储量动用和采出程度认识提供了关键依据，成效显著。



Oil crossover effect（Jarvie, 2012)





□ 工业油层：可动油指数（S_1/TOC）>100(mg/g TOC)